

Korean Patent Abstracts

Document Code:

Publication No.: 1999-23941

Application No.: 1998-34917

Publication Date: March 25, 1999

Application Date: August 27, 1998

Abstract

A metrology apparatus for determining bias or overlay error in a substrate formed by a lithographic process includes an aperture between the objective lens and the image plane adapted to set the effective numerical aperture of the apparatus. The aperture is adjustable to vary the effective numerical aperture of the apparatus and the aperture may be non-circular, for example, rectangular, to individually vary the effective numerical aperture of the apparatus in horizontal and vertical directions. To determine bias or overlay error there is provided a target having an array of elements on a substrate, the array comprising a plurality of spaced, substantially parallel elements having a length and a width, the sum of the width of an element and the spacing of adjacent elements defining a pitch of the elements, edges of the elements being aligned along a line forming opposite array edges, the distance between array edges comprising the array width. The numerical aperture is adjusted such that the pitch of the elements is less than or approximately equal to the ratio of the wavelength of the light source to the numerical aperture value of the optical metrology tool in the direction of the array edges, and the edges of the array are resolved with the optical metrology tool and the width of the array are measured to determine bias or overlay error in the substrate. A camera may be adapted to create a digital image of a target and the components of the digital image in the direction of the pitch of the elements, normal to the length of the elements, may be suppressed to resolve the edges of the array and measure the width of the array. Preferably, the means for suppressing components of the digital image comprises a microprocessor adapted to perform a fast Fourier transform on the digital image to convert image intensity to a spatial frequency domain and a filter to suppress high spatial frequency components of the image in the direction of the pitch of the elements.

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁶ H01L 21/027	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2001년01월 15일 10-0276851 2000년10월04일	
(21) 출원번호 (22) 출원일자	10-1998-0034917 1998년08월27일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	특 1999-0023941 1999년03월25일
(30) 우선권주장 (73) 특허권자	8/919,993 1997년08월28일 미국(US) 인터내셔널 비지네스 머신즈 코포레이션	포만 제프리 엘	
(72) 발명자	미국 10504 뉴욕주 아몬크 오스치니트 크리스토퍼 피		
	미국 코넥티컷주 06804 브룩필드 옴추세 로드 사우스 118 브루너 티모시 에이		
(74) 대리인	미국 코넥티컷주 06877 릿지필드 웨스트모어랜드 로드 27 김창세, 장성구		

심사관 : 김승조

(54) 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치 및 프로세스

명세서

도면의 간단한 설명

도 1 내지 도 6은 본 발명과 관련하여 유용한 서로 다른 표적 어레이들의 평면도.

도 7은 표적 어레이를 측정하는 광학 계측 기기의 개략도.

도 8은 도 7에 도시된 표적 어레이의 평면도.

도 9는 기판상의 단일 0.3 μ m 콘택트(공간)의 SEM 데이터를 초점 및 노출 매트릭스를 이용해 도시한 그래프.

도 10은 본 발명의 방법에 따른 광학 어레이 바이어스 데이터를 초점 및 노출 매트릭스를 이용해 도시한 그래프.

도 11은 초점 및 노출 매트릭스상에서 90%의 일치율을 보이는, SEM 데이터와 광학 어레이 바이어스 데이터 간의 상관 관계를 도시하는 그래프.

도 12는 본 발명과 관련하여 유용한 라인 패턴 단축 어레이의 실시예를 도시하는 도면.

도 13은 서로 다른 개구수를 제공하도록 수직 및 수평 방향으로 조절될 수 있는 비원형 동공 개구의 평면도.

도 14는 어레이내의 각각의 엘리먼트가 광학 계측 기기에 의해 해상된 어레이 패턴 시뮬레이션의 이미지 윤곽을 도시하는 도면.

도 15는 어레이내의 각각의 엘리먼트가 광학 계측 기기에 의해 해상되지 않은 어레이 패턴 시뮬레이션의 이미지 윤곽을 도시하는 도면.

도 16은 어레이내의 각각의 엘리먼트가 광학 계측 기기에 의해 해상되지 않은 반면, 어레이의 에지가 해상되는 어레이 패턴 시뮬레이션의 이미지 윤곽을 도시하는 도면.

도 17은 생산된 웨이퍼에 대한 테스트 패턴의 구현을 도시하는 평면도.

도 18은 본 발명과 관련하여 유용한 오버레이 표적 어레이의 실시예를 도시하는 평면도.

도 19는 본 발명에 따라, 각각의 표적 엘리먼트를 해상하지 않고서 표적의 폭을 측정하는 방법을 도시하는 개략도.

도 20은 본 발명에 따라 이용하기 위한, 기판상의 표적의 실시예를 도시하는 평면도.

도 21은 본 발명에 따라 이용하기 위한, 기판상의 표적의 다른 실시예를 도시하는 평면도.

도 22는 본 발명의 바람직한 광학 계측 기기 및 시스템의 개략도.

도 23은 도 22에 도시된 광학 시스템의 변형에 의해 검출된 바와 같은, 특정의 피치를 갖는 표적의 콘트라스트의 시뮬레이션 그래프.

도 24는 도 18과 유사한 것으로서 본 발명과 관련하여 유용한, 오버레이 표적 어레이의 다른 실시예의 평면도.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

101 : 광원	103 : 빔 분할기
105 : 렌즈	107 : 이미지 판
109, 111 : 빔	100 : 기관
113 : 표적 어레이	115 : 엘리먼트
117 : 간격	119 : 반사 빔
200 : 광원	201 : 주 광선
202 : 집광 렌즈	203 : 가장자리 광선
204, 213, 231 : 개구	205, 206, 230 : 판
207 : 시야 조리개	208 : 콘덴서 렌즈
210 : 파장 필터	212 : 빔 분할기
214, 216 : 대물 렌즈	215 : 동공 판
217 : 대물 판	218 : 스테이지
219 : 기관	220, 232 : 렌즈
222 : 이미지 판	224 : 전자 카메라
226 : 이미지 프로세서	228 : 중앙 마이크로프로세서 제어 시스템

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 전반적으로 리소그래피 제조 시스템(lithography manufacturing systems)에 관한 것으로서, 특히, 0.5 마이크로보다 작은 차수(order)의 차수를 갖는 패턴 피쳐(feature)를 모니터링하기에 특히 유용한, 마이크로 전자 장치(microelectronics) 제조에 사용되는 리소그래피 및 에칭 프로세스에서의 바이어스를 모니터링하는 광학 계측 기기 및 시스템(optical metrology tool and system)에 관한 것이다.

리소그래피가 적용되는 산업 분야의 범위는 넓게는, 반도체, 평판 디스플레이(flat-panel display), 마이크로머신(micromachines) 및 디스크 헤드의 제조 등을 포함한다. 리소그래피 프로세스에서는, 공간 변조광(공간 이미지(aerial image))에 의해 마스크 또는 레티클 패턴(reticle pattern)을 기판상의 포토레지스트막(photoresist film)으로 전사한다. 흡수된 공간 이미지 중, 그 에너지가 포토레지스트 재료의 광 활성 성분(photo-active component; PAC)의 화학 결합의 임계 에너지(threshold energy)를 초과하는 부분은 포토레지스트에 잠상(latent image)을 형성한다. 일부 포토레지스트 시스템에서는 PAC에 의해 잠상이 직접 형성된다. 다른 포토레지스트 시스템(소위, 산 촉매 포토레지스트(acid catalyzed photoresists))에서는, 먼저 광화학 상호 작용(photo-chemical interaction)에 의해 산(acid)이 생성되고, 이것이 노출후 베이킹중에 다른 포토레지스트 성분과 반응하여 잠상을 형성한다. 어느 경우든지, 잠상은, (양성 포토레지스트에서) 현상 프로세스(development process) 동안 제거되거나, 또는 (음성 포토레지스트에서) 현상 이후에 남게 되어, 포토레지스트막에 3 차원 패턴을 형성하도록 하는 포토레지스트 재료의 양을 표시한다.

포토레지스트 이미지의 주요한 결정 요인은, 노출 에너지가 포토레지스트막의 포토레지스트 잉계 에너지와 같게 되는 것이다. 노출 및 초점은 이러한 면의 형상을 제어하는 변수이다. 조사(illumination) 시간 및 조사 각도에 의해 설정되는 노출은, 단위 면적당 공간 이미지의 평균 에너지를 결정한다. 노출의 부분적 변동은, 기관의 반사율(reflectivity) 및 토포그래피(topography)의 변화로 기인한다. 이미지화 시스템(imaging system)의 초점면(focal plane)에 대한 포토레지스트막의 위치에 의해 설정되는 초점은, 초점내 이미지(in-focus image)와 비교한 때의 변조의 감소 정도를 결정한다. 초점의 부분적 변동은, 기관 막 두께 및 토포그래피의 변화로 기인한다.

일반적으로, 노출 및 초점이 변동하기 때문에, 리소그래피 프로세스에 의해 현상된 패턴을 계속적으로 모니터링 및 측정하여 패턴의 치수가 허용 범위내에 있는지 여부를 판정해야 한다. 리소그래피 프로세스의 해상 한도는 통상 해상가능한 최소 피처의 크기로서 정의되는데, 그 한도에 근접함에 따라 이와 같은 모니터링의 중요성이 상당히 커진다. 반도체 기술에서 현상되는 패턴은 일반적으로 직선 및 곡선의 형상을 가지며, 길이의 치수는 폭의 치수와 동일하거나 이보다 수 배이다. 작은 폭의 치수를 폭 치수로 정의하며, 폭의 치수는, 현재의 첨단 반도체 기술에서는 0.1 마이크로론의 치수로부터 1 마이크로론을 초과하는 것 까지이다. 폭의 치수는 패턴의 최소 치수이며, 리소그래피 프로세스의 해상도 한계에 도전하는 것은 폭의 치수이다. 이점으로부터, 폭은 가장 작아 가장 도전적인 현상 치수이기 때문에, 리소그래피 프로세스의 성능을 평가하기 위해 종래부터 모니터링되고 있는 것은 그 폭 치수이다.

'바이어스(bias)'라는 용어는 소정 피처의 치수의 공칭값(nominal value)으로부터 변화를 기술하는데 사용된다. 통상, 관심 대상의 바이어스는 소정의 피처의 치수들 중 가장 작은 치수의 변화이다. 더욱이, '바이어스'라는 용어는 레지스트 이미징화(resist imaging), 에칭, 현상 등과 같은 프로세스와 관련하여서도 동일하게 사용되며, 이미지 바이어스, 에칭 바이어스, 프린트 바이어스 등과 같은 용어로 기술된다.

전형적으로, 주사 전자 현미경(scanning electron microscope; SEM) 또는 광학 기기(optical tool)를 이

용하여 패턴의 피처를 모니터링하고, 그 치수를 측정(계측)한다. 현재의 반도체 산업에서는 대략 0.7 μm 이하의 모든 임계 치수(critical dimensions)의 인라인(in-line) 계측을 위해 탑다운(topdown) SEM을 사용하고 있다. SEM 계측은 매우 높은 해상도를 갖고 있어, 0.1 마이크로미터 치수의 피처의 해상이 가능하다. SEM 계측은 탑다운 이미지 중 사용자 정의 부분의 평균 강도 프로파일을 해석하는 것이다. 유감스럽게도, SEM 계측은, 구현시 비용이 많이 소요되며, 동작이 비교적 느리고, 자동화가 어렵다. 반도체 프로세스에서 직면하게 되는 조건의 범위내에서 2 차원 이미지로부터 웨이퍼상에 3 차원 패턴을 재구성해야 하기 때문에, 탑다운 계측의 정확도는 배제된다. 리소그래피 및 에칭 섹터를 제어하기 위해서는, 0.5 μm 이하의 임계 치수(critical dimension: CD)의 인라인 계측이 현재 SEM 기기상에서 수행되어야 한다. 소정의 고정된 패턴 높이(예를 들면, 아래에 놓인 기판과 패턴간의 경계면)에서 절대 치수를 결정하려는 알고리즘은, 그 정확도가 기껏해야 단지 30-50 nm에 불과하며, 이것은 현재의 임계 치수 허용 오차의 전부는 아닐지라도 그 실질적인 일부이다. 따라서, 현재 및 차세대 반도체 제품에 대한 필요한 치수 제어를 달성하기 위해서는, 탑다운 SEM은 단면(cross-section) SEM, TEM(transmission electron microscope) 및 AFM(atomic force microscope)과 같은, 보다 정확한 방법들과의 상관이 필요하다. 현재의 탑다운 SEM은 이러한 '교정(校正, calibration)'을 통해 10 nm(3σ) 치수의 측정 정밀도를 유지하는 것으로 생각된다. 탑다운 SEM이 차세대 칩에 필요한 CD 계측으로 확장될 수 있을지의 여부는 의문시 된다. 0.25 μm 미만의 개별 피처의 측정의 요구로 인해, 이미지화 처리 능력은 물론, 자동화된 측정- 패턴 인식, 게이트 배치, 에지 검출 등- 을 위해 요구되는 모든 서브시스템은 심각한 도전을 받고 있다. 탑다운 SEM은, 자동화가 크게 향상된다고 해도, 오버레이 계측에 사용된 광학 기기에 비해 느리고, 비용이 비싸다. AFM과 같은 제안된 몇몇 대안들은 더욱 느리고, 더욱 비쌀 것이다.

위에서 요약된 CD 계측 딜레마로 인하여, 인라인 및 오프라인 계측의 역할들이 분리될 것으로 보이며, 이 경우 정밀도, 강도 및 속도를 위해 인라인 계측의 '정확도(accuracy)'가 희생된다. 인라인 계측 기기의 주요한 역할은 높은 수율과 상관되는 것으로 알려진 소정의 동작점에 프로세스를 유지시키는 것이다. 또한, 인라인 계측은 기초가 되는 물리적 효과의 이해를 돕는 많은 통상의 프로세스 특성화 데이터(routine process characterization data)(예를 들면, 초점 노출 매트릭스(focus-exposure matrices), 프로세스 윈도우 비교(process window comparisons), 진동 곡선(swing curves) 등)를 생성할 수 있다. 오프라인 계측 기기는 인라인 계측 기기를 교정된 상태로(calibrated) 관리하며(패턴의 물리적 속성과의 상관을 유지하고), 패턴링 프로세스를 더욱 철저히 특성화하고 진단할 수 있게 해준다.

인라인 계측 기기에 요구되는 속성들은 프로세스의 변화에 대한 강도, 정밀도, 안정성, 정합(matching), 교정의 용이성, 속도, 낮은 소유 비용이며, 물론, 이러한 속성들은 비파괴적이어야 한다. 광학 기기는 CD 계측을 위한 이러한 역할을 수행하기 위해 새로 등장할 것이다. 오프라인 계측/검사(inspection) 기기에 요구되는 주요한 속성은 칩 패턴을 정밀하면서도 정확하게 '관측(see)'할 수 있는 능력이다. 탑다운 SEM은 오프라인 임무로 전환할 것이며, 단면 SEM, TEM, AFM, 전기 탐침(electrical probe) 등과 함께, 오프라인 계측에서 중요한 역할을 계속 수행할 것이다. 반도체 제조시, 인라인 및 오프라인 계측은 모두 궁극적인 조정자(arbiter)인 전기적 칩 성능에 여전히 종속된다.

광학 계측이 SEM 및 AFM 계측과 관련된 상기 단점들을 극복하기는 하지만, 광학 계측 시스템에서는 대략 1 마이크로미터보다 작은 피처 치수의 정확한 측정을 위한 해상도는 불가능하다. 또한, 오(false) 강도는, 반도체 제품 웨이퍼상에서 광학 현미경의 서브마이크론(sub-micron) 계측에의 적용을 제한해 왔다.

칩의 치수가 광선의 파장에 접근함에 따른 광학 해상도(optical resolution)의 저하로 인해, 각각의 칩 피처의 측정에 광학 현미경을 적용하는 것이 배제된다. 인라인 계측에 대한 정확성 요건을 차지하더라도, 인접 에지들의 흐릿한 이미지(blurred image)들은 중첩 및 간섭하며, 이미지의 강도 프로파일의 형태는 웨이퍼상의 실제 피처와 더 이상 일치하지 않는다. 이와 같은 측정의 '일치성(consistency)'의 상실로 인해 기존의 광학 계측은 실질적으로 0.5-1.0 μm 의 범위로 제한된다.

오 감도와 관련하여, 반도체 제조에 사용되는 박막은 그들의 광학적 특성이 크게 변한다. 광학 계측은 두께, 굴절율, 패턴링된 층 및 그 아래에 놓인 층의 입상도(粒狀度)(granularity) 및 균일도(uniformity)에 민감하다. 광학 이미지(optical image)에 영향을 미치는 막의 변화는 패턴 치수의 변화로서 잘못 해석될 수도 있다.

미국 특허 출원 제 08/359,797 호, 제 08/560,720 호, 제 08/560,851 호에는 마이크로 전자 장치 제조에 사용된 리소그래피 및 에칭 프로세스의 바이어스 모니터링의 향상된 내용이 개시되어 있다. 미국 특허 출원 제 08/560,851 호에는, 이미지 단축(image shortening) 현상을 이용하여 표적상의 피처를 모니터링하는 방법이 개시되어 있다. 미국 특허 출원 제 08/560,720 호에는, 바이어스 및 오버레이 에러를 측정하는데 표적과, 버니어(vernier)를 이용하는 측정 방법이 개시되어 있다. 이들 특허 출원에서, 표적은 길이 및 폭을 갖는 이격된 평행한(spaced parallel) 엘리먼트의 어레이로 구성되며, 엘리먼트의 단부(end)가 어레이의 에지를 형성한다. 이들 특허 출원의 표적 및 측정 방법은 매우 유용하기는 하나, 프로세스의 변화에 대한 강도가, 이미지 단축에 의해 증강되는 것에 의존하고 있다.

따라서, 0.5 마이크로미터 미만의 치수의 치수를 갖는 임의의 모양의 패턴 피처를 모니터링하면서, 저렴한 비용으로 구현할 수 있고, 동작이 빠르며, 자동화가 간단한 방법이 여전히 필요하다. 광학 계측을 이용한 인라인 리소그래피/에칭 제어를 가능하게 하는 바이어스 판정 프로세스- SEM 및/또는 AFM 계측은 단지 교정 목적만을 위해 요구될 뿐임- 가 필요하다.

종래 기술의 문제점 및 결점을 고려하면, 본 발명의 목적은 리소그래피 프로세스의 결과로서 증착된 패턴의 바이어스 및 오버레이 에러를 판정하는 광학 계측 기기 및 장치를 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 리소그래피 프로세스의 결과로서 증착된 패턴의 바이어스 및 오버레이 에러를 판정하는 방법 및 표적을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 증착된 패턴의 바이어스 및 오버레이 에러의 측정을 결합하고, 웨이퍼 기판상의 공간을 적게 이용하는 방법 및 표적을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 광학 현미경으로 판독가능한 바이어스 및 에지 오버레이 표적을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 사용된 계측 기기로는 의도적으로 해상될 수 없도록 한 표적을 이용하는 바이어스 측정 프로세스를 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적 및 이점은 부분적으로는 명백하며, 부분적으로는 명세서로부터 명백해질 것이다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

당업자에게는 명백할, 상기 및 다른 목적은 본 발명에 의해 달성되며, 본 발명은 다음과 같은 것들을 제공한다.

하나의 관점에서는, 본 발명은 먼저 엘리먼트의 어레이를 기관상에 제공함으로써, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 임계 치수 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스를 제공하며, 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 실질적으로 평행한 이격된 엘리먼트로 구성된다. 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합에 의해 엘리먼트의 피치가 정의된다. 엘리먼트의 단부 또는 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되며, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 된다. 또한, 어레이 엘리먼트의 길이를 측정하는, 광원 및 개구를 갖는 광학 계측 기기가 제공된다. 광학 계측 기기는 i) 광원의 파장, ii) 개구수 또는 iii) 부분 가간섭성(partial coherence) 중 하나 이상에 대하여 조절가능하다. 이 프로세스에서는 엘리먼트의 피치가 어레이 에지의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수에 대한 광원 파장의 비율보다 작거나, 또는 대략 동일하게 되도록 엘리먼트의 피치, 광원의 파장, 개구수 및 부분 가간섭성을 선택한다. 차후에, 어레이의 에지를 광학 계측 기기로 해상하고, 어레이의 폭을 측정하여, 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정한다.

바람직하게는, 피치는 기관상에 형성된 최소의 피치에 대응하며, 어레이의 폭을 측정하는 동안 각각의 엘리먼트는 어레이내에서 해상되지 않는다. 어레이의 엘리먼트의 길이는 어레이의 엘리먼트의 폭보다 클 수 있다. 측정은, 엘리먼트의 길이 즉, 어레이의 폭을 가로지르는 한 개의 행(row)을 구성하는, 복수의 이격된 엘리먼트의 길이에 대하여 행해지고, 엘리먼트로 이루어진 행의 길이에 대하여 행해진다.

바람직한 실시예에서는, 어레이의 피치값이 방향에 따라 상이하고, 광학 계측 기기가 비원형의 동공(non-circular pupil)을 가지고, 최소 어레이 피치의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA를 최대 어레이 피치의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA보다 작도록 선택하는 것이 유용하며, 그 결과 어레이의 에지는 해상되지만, 각각의 엘리먼트는 해상되지 않는다.

보다 바람직한 관점에서는, 본 발명은 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스에 관한 것이다. 본 프로세스를 실행하기 위해 엘리먼트의 어레이가 기관상에 제공되며, 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함한다. 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합에 의해 엘리먼트의 피치 P가 정의된다. 엘리먼트의 단부는 양측의 어레이 에지를 형성하는 일직선의 라인을 따라 정렬되며, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 된다. 또한, 어레이 엘리먼트의 길이를 측정하기 위한 광원, 개구 및 대물 렌즈를 갖는 광학 계측 기기가 제공된다. 광학 계측 기기는 i) 광원의 파장 λ , ii) 어레이의 에지 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA 또는 iii) 부분 가간섭성 σ 중 하나 이상에 대하여 조절가능하다. 프로세스에서는, 다음과 같은 수식식이 성립되도록 엘리먼트의 피치 P, 광원의 파장, 개구수 및 부분 가간섭성을 선택한다.

$$P < \text{or} \approx \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

이로써, 각각의 엘리먼트가 어레이내에서 해상되지는 않는다. 어레이의 에지를 광학 계측 기기로 해상하고, 어레이의 폭을 측정하여, 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정한다.

최소 어레이 피치의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA는 최대 어레이 피치의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA보다 작도록 선택될 수 있다.

전술한 프로세스 및 장치에 비해 향상된 것으로서, 본 발명은 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치를 또한 제공하며, 상기 계측 장치는 광원과, 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위한 표적을 그 위에 갖는 기관을 수용하는 대물 판(object plane)과, 하나의 방향에서, 광원으로부터 기관상의 표적상으로 향하는 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 표적의 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 광원과 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 대물 판으로부터 반사된 표적의 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판(image plane)을 포함한다. 대물 렌즈와 이미지 판 사이에 장치의 유효 개구수를 셋팅하는 개구가 제공된다. 바람직하게, 개구를 조절하여 장치의 유효 개구수를 변화시킬 수 있고, 개구를 비원형, 예컨대 장방형으로 하여 장치의 유효 개구수를 수평 및 수직 방향으로 각각 변경시킬 수 있다.

관련된 관점에서는, 본 발명은 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치를 제공하며, 상기 계측 장치는 광원과, 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위한 표적을 그 위에 갖는 기관을 수용하는 대물 판과, 하나의 방향에서, 광원으로부터 기관상의 표적상으로 향하는 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 표적의 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 광원과 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 대물 판으로부터 반사된 표적의 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판을 포함한다. 광원과 이미지 판 사이에 장치의 유효 개구수를 변화시키는 조절가능한 비원형 개구가 제공된다. 바람직하게, 개구는 장방형이고, 대물 렌즈와 이미지 판 사이에 배치되며, 장치의 유효 개구수가 수평 및 수직 방향으로 각각 변경되도록 더 조절가능하다.

또 다른 관점에서는, 본 발명은,

a) 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 기판상에 제공하는 단계- 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 엘리먼트의 피치를 정의하며, 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,

b) 파장을 갖는 광원과, 그 위에 표적을 갖는 기판을 수용하는 대물 판과, 하나의 방향에서, 광원으로부터 기판상의 표적상으로 향하는 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 표적 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 광원과 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 대물 판으로부터 반사된 표적 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판과, 광학 계측 기기의 유효 개구수를 변화시키는, 대물 렌즈와 이미지 판 사이의 조절가능 개구를 포함하는 광학 계측 기기를 제공하는 단계와,

c) 엘리먼트의 피치가 어레이 에지 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수에 대한 광원 파장의 비율보다 작거나, 또는 거의 동일하도록 개구수를 조절하는 단계와,

d) 광학 계측 기기로 어레이의 에지를 해상하고, 어레이의 폭을 측정하여, 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 단계를 포함하는, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이를 판정하는 프로세스에 관련된 것이다.

바람직한 실시예에서, 피치는 기판상에 형성된 최소의 피치에 대응하며, 단계 (d) 동안 각각의 엘리먼트는 어레이내에서 해상되지 않는다. 또한, 광학 계측 기기의 개구는 비원형인 것이 바람직하며, 단계 (c)에서, 어레이의 에지는 해상되나, 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 어레이 에지의 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA는 어레이 에지에 수직인 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA와 다르게 선택된다.

본 발명의 또 다른 관점은,

a) 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 기판상에 제공하는 단계- 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 엘리먼트의 피치를 정의하며, 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 어레이 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,

b) 파장을 갖는 광원과, 그 위에 표적을 갖는 기판을 수용하는 대물 판과, 하나의 방향에서, 광원으로부터 기판상의 표적상으로 향하는 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 표적 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 광원과 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 대물 판으로부터 반사된 표적 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판과, 광학 계측 기기의 유효 개구수를 변화시키는, 광원과 이미지 판 사이의 조절가능 비원형 개구를 포함하는 광학 계측 기기를 제공하는 단계와,

c) 엘리먼트의 피치가 어레이 에지 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수에 대한 광원 파장의 비율보다 작거나, 또는 거의 동일하도록 개구수를 조절하는 단계와,

d) 어레이내의 각각의 엘리먼트를 해상함이 없이, 광학 계측 기기로 어레이의 에지를 해상하고, 어레이의 폭을 측정하여, 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 단계를 포함하는, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스를 제공한다.

바람직한 실시예에서, 광학 계측 기기의 개구는 장방형이며, 단계 (c)에서, 어레이의 에지는 해상되나, 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 어레이의 에지 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA는 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA와 다르게 선택된다.

엘리먼트의 피치는 P 로서, 광원의 파장은 λ 로서, 개구수는 NA 로서 정의되고, 광학 계측 기기는 σ 로서 정의되는 부분 가간섭성을 가지는 경우, 단계 (c)는 다음의 수학적식이 성립하도록 개구수 및 부분 가간섭성을 조절하는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.

(수학적 식 1)

$$P < \text{or} \approx \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

이에 의해, 각각의 엘리먼트가 표적의 어레이내에서 해상되지 않는다.

바람직하게, 광학 계측 기기의 개구는 비원형이며, 단계 (c)에서, 어레이의 에지는 해상되나, 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 어레이의 에지 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA는 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계측 기기의 개구수 NA와 다르게 선택된다.

본 발명의 또 다른 관점은 광원과, 그 위에 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위한 표적- 표적은 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하는 어레이를 갖고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 엘리먼트의 피치를 정의하며, 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이 폭을 이루게 됨- 을 갖는 기판을 수용하는 대물 판을 포함하는, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치에 관한 것이다. 대물 렌즈는 광원과 대물 판 사이에 제공되며, 이것은 하나의 방향에서, 광원으로부터 기판상의 표적상으로 향하는 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 표적 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집한다. 카메라는 대물 판으로부터 반사된 표적의 디지털 이미지를 생성한다. 엘리먼트의 피치의 방향, 즉, 엘리먼트의 길이에 수직인 방향의 디지털 이미지의 성분을 억제하는 수단 및 어레이의 에지를 해상하고 어레이의 폭을 측정하여, 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 수단이 더 제공된다. 바람직하게는, 상기 디지털 이미지의 성분을 억제하는 수단은 디지털 이미지의 고속 푸리에 변환을 수행하여 이미지의 강도를 공간 주파수 영역으로 변환하는 마이크로프로세서와, 엘리먼트의 피치 방향으로의 이미지의 높은 공간 주파수 성분을 억제하는 필터를 포함한다.

관련된 관점에서, 본 발명은,

- a) 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 기관상에 제공하는 단계- 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 엘리먼트의 피치를 정의하며, 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,
- b) 표적의 디지털 이미지를 생성하는 단계와,
- c) 엘리먼트의 피치 방향, 즉, 엘리먼트의 길이에 수직인 방향의 디지털 이미지의 성분을 억제하는 단계와,
- d) 어레이의 에지를 해상하고, 어레이의 폭을 측정하여, 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 단계를 포함하는, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스를 또한 제공한다.

단계 (c)는 디지털 이미지의 고속 푸리에 변환을 수행하여 이미지의 강도를 공간 주파수 영역으로 변환하고, 엘리먼트의 피치 방향으로의 이미지의 높은 공간 주파수 성분을 필터링하는 것을 포함한다.

발명의 구성 및 작용

본 발명의 특징들은 신규한 것으로 간주되며, 본 발명의 엘리먼트 특성은 특히 첨부한 특허청구범위에 기술된다. 도면들은 단지 예시적인 것이며, 실제 축척대로 도시된 것은 아니다. 그러나, 본 발명 자체는 동작의 구성 및 방법에 관한 것이며, 첨부한 도면과 함께 이하의 상세한 설명을 참조하면 가장 잘 이해될 수 있을 것이다.

본 발명의 바람직한 실시예를 기술하는데 있어서, 도 1 내지 도 20을 참조할 것이며, 도면에 있어서 동일한 부호는 본 발명의 동일한 특징을 나타낸다.

미국 특허 출원 제 08/359,797 호, 제 08/560,720 호, 제 08/560,851 호에는 리소그래피 동안 '이미지 단축(image shortening)' 현상에 의해 피처를 모니터링하는 방법 및 절차가 개시되어 있으며, 이것은 본 명세서에서 참조로 인용된다.

오버레이를 측정하여 해상되지 않는 패턴 계측의 정확도 및 정밀도를 향상시키는 것이 그 주된 작업인 비변조 광학 계측 기기(unmodified optical metrology tools)를 이용하여 해상되지 않는 패턴 어레이를 측정할 수 있다. 본 발명에서는, 광학 계측 방법을 적용하여, 이미지 단축 어레이에 사용된 타입의 불연속 패턴을 형성하는 패턴 어레이의 에지를 검출할 수 있지만, 어레이의 엘리먼트 자신은 이 계측 시스템에 의해 해상되지 않는다. 어레이의 엘리먼트는, 행의 끝에서의 엘리먼트의 에지가 어레이의 에지를 정의하도록 구성되는 한, 임의의 형태 또는 방향을 가질 수 있다.

바람직한 실시예에서, 신규한 계측 기기 및 시스템이 개시되며, 이러한 시스템은 보다 바람직하게, 비원형 조절가능 개구를 사용하여 기기의 유효 개구수를 변경시킨다.

도 1 내지 도 6에는, 본 발명의 방법과 관련하여, 일련의 유용한 서로 다른 어레이의 패턴들이 도시되어 있다. 각각의 예에서, 엘리먼트는 길이 및 폭을 가지며, 엘리먼트의 단부가 어레이의 에지를 형성하도록 행으로 정렬되어 있다. 도 1에는 전술한 참조로서 인용된 특허 출원에 기술된 바와 같이, 라인 단부 단축(line end shortening)이 사용된 애플리케이션에서 유용한 한 쌍의 어레이 패턴이 도시되어 있다. 어레이의 패턴은 수평으로 확장하는 엘리먼트(120)를 가지며, 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 동일하고, 엘리먼트의 폭은 엘리먼트의 길이보다 작다. 각각의 엘리먼트는 어레이의 폭을 가로질러 연속되고, 엘리먼트의 단부는 어레이의 양측 에지를 형성한다. 각각의 어레이는 어레이의 길이보다 작은 폭을 갖는다.

도 2는 수직으로 확장하는 엘리먼트(122)를 갖는 한 쌍의 어레이 패턴을 도시하고 있으며, 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 마찬가지로 동일하고, 엘리먼트의 폭은 마찬가지로 엘리먼트의 길이보다 작다. 또한, 각각의 엘리먼트는 어레이의 폭을 가로질러 연속되고, 엘리먼트의 단부는 어레이의 양측 에지를 형성한다. 그러나, 각각의 어레이는 어레이의 길이보다 큰(엘리먼트의 길이와 동일한) 폭을 갖는다.

어레이의 에지는 엘리먼트(122)의 길이 방향에 대해 90°의 각을 이룬다.

도 3은 수직 행(vertical row)으로 확장하는 불연속적인 엇갈린(staggered) 엘리먼트(124)로 구성된 한 쌍의 어레이 패턴을 도시하고 있다. 마찬가지로, 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 동일하고, 엘리먼트의 폭은 엘리먼트의 길이보다 작다. 그러나, 수직 행에서(그 길이 방향에서)의 각각의 엘리먼트는 행간의 간격과 같은 간격 만큼 인접 엘리먼트로부터 이격되어 있다. 행에서의 엘리먼트 사이의 간격이 행에 대해 직각으로 정렬되지 않고, 90° 이하의 각을 이루도록 엘리먼트의 행이 엇갈려 있다. 행의 단부에서의 엘리먼트의 단부는 엘리먼트의 행의 방향에 대해 90° 이하의 각을 이루는 어레이의 에지(124a)를 형성한다.

도 4는 엘리먼트(125)를 갖는 한 쌍의 어레이 패턴을 도시하고 있으며, 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 마찬가지로 동일하고, 엘리먼트의 폭은 마찬가지로 엘리먼트의 길이보다 작다. 그러나, 엘리먼트(125)는 어레이의 에지에 대해 45°의 각도로 확장한다. 각각의 엘리먼트는 그 길이를 따라 연속적이며, 엘리먼트의 단부는 어레이의 양측 에지를 형성한다. 어레이의 폭 D_{array} 는 $1.414 \times$ 엘리먼트의 길이이다.

도 5는 수직의 행으로 확장하는 불연속적인 엘리먼트(126)로 구성된 한 쌍의 어레이 패턴을 도시하고 있다. 마찬가지로, 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 동일하지만, 이 예에서의 각각의 엘리먼트는, 엘리먼트의 폭이 엘리먼트의 길이와 동일하고, 수직 행에서의 각각의 엘리먼트가 행간의 간격과 동일한

간격 만큼 인접 엘리먼트로부터 이격되도록 정방향이다. 엘리먼트는 어레이의 에지가 엘리먼트(122)의 수직 행의 방향에 대해 90°의 각을 이루도록 수직 및 수평 모두에 대해 정렬되지만, 도 3에 도시된 바와 같이 행에서 또한 엇갈리게 될 수도 있다. 도 5에 도시된 바와 같은 어레이 패턴의 엘리먼트는, 예를 들면, 기판내에 에칭된 0.3 μm 직경의 콘택트 등의 기능적인 피쳐로 구성될 수 있어, 바이어스를 검사하기 위해 기판에 별도의 표적 패턴을 에칭할 필요는 없을 것이다.

도 6은 중첩 행(overlapping rows)에서 엇갈려 있는 불연속 정방향 엘리먼트(128)로 구성된 한 쌍의 어레이 패턴을 도시하고 있다. 마찬가지로, 특정한 수직 행내에서의 엘리먼트간의 간격은 엘리먼트의 폭과 동일하지만, 각각의 수직 행은 인접한 수직 행과 중첩된다. 엘리먼트는 인접한 행들 사이의 엘리먼트 간격이 엘리먼트의 수직 행의 방향에 대해 90° 이하의 각을 이루도록 정렬된다.

본 발명은 모든 타입의 리소그래피 패턴, 예를 들면, 라인, 트렌치(trenche), 콘택트 등의 패턴을 제어하는데 적용될 수 있는데, 여기서, 어레이의 에지는 프로세스 변화에 따라 각 엘리먼트의 에지를 추적한다. 본 발명의 중요한 점은 어레이의 에지가 해상되나 어레이의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록 패턴 어레이의 구성과 관련하여 광원의 파장 및/또는 현미경의 개구수에 의해 광학 계측 기기의 해상도를 변경할 수 있다는 것이다. 본 발명은 엘리먼트의 치수에 대한 하한(lower limit)을 설정할 필요는 없다. 보다 작은 엘리먼트 치수에 대해 최적의 측정 정밀도를 달성하기 위해서는, 어레이 엘리먼트의 피치가, 광학 계측 시스템의 컷오프(cutoff) 공간 주파수의 역수(inverse)를 불과 하회하도록, 해상도를 조정(tuning)할 필요가 있다.

광학계의 컷오프 공간 주파수(F_c)는 그 파장, 개구수 및 그 조명의 간섭성의 정도에 의해 결정된다. 일반적으로, F_c 는 NA/파장에 비례하며, 해상가능 최소 피치 P_{min} 은 다음의 수식과 같이 주어진다.

$$P_{min} \approx \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

여기서,

P는 표적 어레이에서 엘리먼트 폭과 엘리먼트 간격의 합,

λ 는 광학 기기에 의해 사용되는 파장,

NA는 현미경 대물 렌즈의 개구수,

σ 는 부분 간섭성(또는, 대물 렌즈 NA에 대한 광원 NA의 비율)이다.

예를 들어, NA = 0.5, σ = 0.5 및 파장 = 500 nm이면, P_{min} = 670 nm이다. 이 경우, 670 nm 미만의 피치를 갖는 패턴은 해상되지 않을 것이다. 이러한 구조의 2 차원 어레이에서는 어레이 구역에 걸쳐 광학계에 임사하는 강도는, 배경과 비교하여 균일한 변화로서 나타난다. 어레이의 폭 또는 어레이의 길이와 같은 어레이 치수(D_{array})가 P_{min} 보다 훨씬 크면($D_{array} \gg P_{min}$), D_{array} 는 광학계로 측정가능하다.

비록, 어레이의 개별 엘리먼트는 해상되지 않더라도, 측정가능한 어레이 치수 D_{array} 는 엘리먼트의 치수 변화를 추적할 수 있다. 이와 같이, 어레이의 광학 측정에 의해 엘리먼트 치수의 인라인 제어가 가능하다.

도 7에서, 광학 계측 기기는 광원(101), 빔 분할기(beam splitter)(103), 렌즈(105) 및 이미지 판(107)을 포함한다. 광원(101)으로부터 방사된 광선 빔(light beam)(109)의 개구수는 파장 λ 를 갖는다. 빔 분할기(103)는 부분적으로 투과시키는 미러(partially transmitting mirror)를 포함하여, 빔(109)의 광강도의 일부가 빔(111)으로서 렌즈(105)를 통해 아래로 반사되도록 한다. 렌즈(105)의 아래에, 표적 어레이(113)(도 8)가 있고, 여기에는 폭 w 및 길이 l의 복수의 엘리먼트(115)가 있고, 폭 s의 간극(gul)으로 분리되며, 배경의 기판(100)상에 리소그래피에 의해 인쇄되어 있다. 엘리먼트(115)는 도 12에 도시된 바와 같이, 어레이의 폭에 걸쳐 연속적인 (1과 동일한) 라인이거나, 또는 어레이의 폭에 걸쳐 확장하는 일련의 불연속 라인 또는 도트일 수 있다. 비록, 본 발명의 방법에 따라 w는 s보다 크거나 작을 수도 있으나, 도 12에 도시된 바와 같이, w는 s와 동일하다. 엘리먼트의 피치 P는 w와 s의 합과 동일하다. w, s, NA, λ 및 σ 에 대한 값은 P 가 $\lambda / [NA(1+\sigma)]$ 보다 작거나 같게 되도록 정해진다.

광선 빔(111)이 렌즈(105)를 통과하여 표적(113)에 수집된 후, 빔은 이미지 빔(119, 121a 및 121b)으로서 분산된다. 본 발명의 방법에 따라 엘리먼트의 피치, 개구수 및 파장을 선택한 결과, 각각의 엘리먼트(115)는 엘리먼트 사이의 간격(117)에 대해 해상되지 않는다. 0(제로) 차수(order)의 반사 빔(119)은 위로 직진하여 렌즈(105)와 빔 분할기(103)를 통과하며, 그 절반 정도가 빔(123)으로서 나타나게 된다. 표적(113)으로부터 분산된 빔(121a 및 121b)은 각각 +1 및 -1 차수이며, 광학 계측 기기의 계측 영역 밖으로 분산한다.

빔(123)은 이미지 판(107)상에 이미지(125)를 형성한다. 이미지의 폭은 D_{array} , 즉, 표적(113)의 폭과 동일하다. 그러나, P, λ , NA 및 σ 의 선택에 의해, 단지 표적 어레이의 에지만이 해상될 뿐, 배경에 대해 각각의 엘리먼트 및 간극은 해상되지 않으며, 이미지(125)의 내부는 회색 영역(gray area)으로서 나타난다. 피치의 값을 고정시키고, 광원의 파장, 개구수 및 간섭성을 선택하거나, 광원의 파장값을 고정시키고, 피치, 개구수 및 간섭성을 선택하거나, 개구수를 고정시키고, 광원의 파장 및 피치를 선택할 수 있다.

본 발명의 방법에서 의도한 바와 같이, 표적은 기판의 배경에 대해 항상 대비된다. 해상되지 않는 패턴을 측정하는 데에는 이들 파라미터(NA, λ , σ)를 제어할 수 있는 현미경이 유용한데, 왜냐하면 어레이가 거의 해상되지 않도록 현미경을 조정할 수 있기 때문이다. 광원의 파장을 변경하면, 패턴 콘트라스트(contrast) 문제가 발생될 수 있으며, σ 를 감소시키면 에지의 환형화(ringing) 및 다른 바람직하지

못한 간섭성 문제가 발생할 수 있다. * 이와 같이, 제어하는 현미경 파라미터는, 가변 직경의 동공, 즉 홍채(iris)로 제어할 수 있는 개구수 NA인 것이 바람직하다.

도 7의 설명의 옵션으로서, 그 광학 계측 시스템은 암시야(darkfield)로 적용할 수도 있다. 더욱이, 해상되지 않는 패턴을 측정하기 위해 바람직한 비대칭 특성을 갖는 다른 이미지화 방식도 상정할 수 있다. 예를 들면, (통상의 원형 스폿(spot)형이 아닌) 타원형(elliptical) 또는 장방형의 스폿형(elliptical or rectangular spot shapes)을 가진 공초점 현미경(confocal microscopes)을 구축하고, 이를 파시형 패턴의 방향으로 적절히 향하게 한다. 또한, 수직으로 산란한 광선으로부터 수평으로 분리되어 산란하는 광선을 집광하는 스캐터로미터(scatterometer)를 이용하여 임의의 원하는 패턴을 측정할 수 있다. 모든 반복 패턴은 패턴으로부터 광선이 어떤 각도로 산란할 것인지 기술하는 푸리에 스펙트럼(Fourier spectrum)을 가질 것이다. 이들 알려진 산란 각도에서 공간 필터를 통해 집광함으로써, 고해상도를 갖는 패턴을 포함하지 않는 영역으로부터 주기적인 패턴을 포함하는 영역을 구별할 수 있다.

실시예 1

리소그래피 공정으로 인쇄된 300 nm 크기의 콘택트 홀을 갖는 기판이 본 발명의 방법을 이용하여 제어된다. 초점 노출 매트릭스(focus-exposure matrix)를 사용해, 600 nm의 피치를 갖는 300 nm 직경의 콘택트의 어레이를 측정한다. 예를 들면, 도 5에 도시된 바와 같이, $D_{array} = (5 \times w) + (4 \times s)$ 와 같고 P보다 훨씬 크다. 도 8에 도시된 바와 같이, 1은 D_{array} 보다 훨씬 큰 것으로 도시되었지만, 1은 또한 D_{array} 이하로 될 수도 있다. 도 10에 도시한 바이오래드 광학 계측 기기(Biorad Optical Metrology Tool)로 측정된 어레이 치수의 변화와, 도 9에 도시한 오팔(Opal) SEM으로 측정된 각 콘택트의 변화가 상관된다. 고해상도 보다는 저해상도에서 측정 능력이 향상된 것으로 관측되기 때문에, 측정 능력은 광학 해상도의 강도도 도시되어 있다. 최고 성능은, 575-625 nm의 광선 파장, 0.7의 개구수 및 0.5의 부분 가간섭성을 얻기 위한 적색 필터(red filter)를 사용한 때 획득되며, 그 결과 각각의 콘택트는 해상되지 않게 된다.

본 발명의 측정 기법의 강도 및 정밀도는 많은 엘리먼트 고유의 평균화 및 바이오래드 시스템(Biorad system)의 양호한 초점 반복성으로 인해, 현재의 SEM과 동일하거나, 이보다 더 우수한 것으로 나타나고 있다. 특히, 도 11에는, 도즈(dose)/초점 변화에 대한 강도가 도시되어 있다. 도 11은 도 9 및 도 10의 측정에 사용된 조건의 범위상에서의 어레이의 치수 대 SEM 임계 치수의 관계를 도시한 그래프이다. 최적의 기술기는 대략 1이며, 이는 대등한(comparable) 강도임을 나타낸다. 더욱이, 각각의 광학 측정의 반복성은 7.5 nm(3σ)보다 작고, SEM의 반복성은 10 nm(3σ)보다 크다. 본 시스템의 정확성은 SEM 단면 및/또는 AFM 프로파일에 대한 교정에 의해 체크될 수 있다. 광학 계측 기기의 안정성은 실증되고 있기 때문에, 그와 같은 교정이 빈번하게는 실시되지 않을 것으로 예상할 수 있다.

실시예 1에서 사용된 콘택트 홀 어레이는 어레이의 피치가 어레이의 길이 방향 및 폭 방향과 동일하므로, 광학 해상도에 대해 가장 심한 제약을 가한다. 이러한 조건하에서도 어레이 폭의 광학 측정의 정밀도는 개별 콘택트의 SEM 측정에 비해 우수하다. 어레이 패턴의 피치가 방향에 따라 상이한 경우 공간 필터 기법을 이용하여 계측 광학계를 특정 패턴에 맞게 다시 최적화할 수 있다.

공간 필터 기술의 한 방법은 장방형 또는 타원형 등의 비원형 동공 개구를 사용하는 것이다. 이 방법에 의하면, 광학 해상도를 하나의 방향으로 낮게 하여 패턴을 해상하지 않도록 하며, 다른 방향으로는 높게 하여 고해상도 측정이 가능하도록 한다. 도 12에 도시한 라인 단축 패턴의 특징 실시예에서, 수직 방향의 해상도를 낮게 하여, 각 라인을 해상하지 않도록 하는 한편, 수평 방향의 해상도를 높게 하여, 라인 길이가 정확하게 측정될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 이것은, 수평 및 수직 방향의 양 방향으로 가변 개구를 갖는 비원형 개구를 이용함으로써 달성될 수 있다. 이러한 방식의 하나의 바람직한 실시예는 도 13에 도시한 바와 같이, 현미경 대물 렌즈의 푸리에 판(Fourier plane)에 있는 4 개의 블레이드형 프로그램가능 개구(bladed programmable aperture)로 구성된다. 블레이드(blade)(54, 56)는 서로 근접하기도 하고 멀어지기도 하면서 수직 방향으로 이동가능하며, 각각 내측 동공 에지(inner pupil edges)(55, 57)를 갖는다. 블레이드(58, 60)는 서로 근접하기도 하고 멀어지기도 하면서 수평 방향으로 이동가능하며, 각각 내측 동공 에지(59, 61)를 갖는다. 내측 에지(55, 57, 59, 61)는 현미경 대물 렌즈의 동공을 정의한다. 이들 4 개의 블레이드를 이동시켜 상이한 장방형 개구를 정의함으로써, 기지의 어레이 패턴의 측정에 최적인 것을 얻을 수 있다. 다른 임의의 비원형 개구 필터의 구성을 사용할 수도 있다.

실시예 2

도 12의 라인 단축 패턴에 대해 전술한 방식이 갖는 이점을 확인하기 위한 시뮬레이션이 수행된다. 여기서는 어레이(50)가 복수의 라인 혹은 엘리먼트(52)로 구성되고, 각 엘리먼트의 폭 w는 350 nm, 길이 l은 2 마이크로, 엘리먼트간의 간격 s는 350 nm이다. 어레이의 폭은 길이 l과 동일한 2 마이크로이다. 엘리먼트(52)의 단부는 어레이의 에지를 형성한다. 어레이의 길이는 엘리먼트 수(16) × 엘리먼트 폭(350 nm) + 간격 수(15) × 간격(350 nm)와 같다. 즉, 10.85 마이크로이다. 이러한 어레이 패턴의 이미지 시뮬레이션이 3 가지 상이한 이미지화 상황에 대하여 실시되어, 도 14 내지 도 16에 도시한 이미지 윤곽을 획득하였다. 도 14는 $\lambda = 500$ nm, $\sigma = 0.5$, 원형 NA = 0.7인 통상의 고해상도의 대물 렌즈를 도시하고 있다. 각각의 라인이 해상되기 때문에, 라인 단축 패턴의 에지가 뚜렷한 파형(ripple)을 나타내고 있는데, 이는 라인 길이의 측정을 더욱 어렵게 한다. 도 15는 NA = 0.37, $\sigma = 0.95$ 인 통상의 저해상도 대물 렌즈를 도시하고 있다. 각각의 수평 라인은 이제 전혀 해상되지 않는다. 이 도면에서는, 이미지 프로파일 구배가 다소 저하되어, 윤곽 라인간의 간격이 상대적으로 넓어짐을 알 수 있다. 도 16에는 도 13과 유사한 장방형 동공 필터를 이용한 윤곽이 도시되어 있다. 여기서는, 비원형 동공의 사용에 의해 수평 NA는 0.7이고, 수직 NA는 0.37로 감소되어 있다. 마찬가지로, 각각의 라인은 전혀 해상되지 않는다. 그러나, 이미지의 구배는 측정 방향으로 대략 2 배씩 증가되었다. 따라서, 수평 및 수직 방향의 개구수가 각각 상이하게 선택된 비원형 동공을 이용하면, 개별 어레이 엘리먼트를 해상하지 않고서 어레이 에지를 원하는 바 대로 해상할 수 있다.

도 17을 참조하면, 제품의 모니터링 및 제어를 위해, 본 발명에 사용될 수 있는 임의의 어레이 패턴, 예를 들면, 테스트 패턴(40)을 원하는 디바이스 패턴과 관련하여 제품 웨이퍼(42)상에 인쇄할 수 있다. 제품을 나타내기 위해, 테스트 패턴(40)의 엘리먼트는 디바이스 패턴의 최고의 임계 피치의 폭 및 피치보다 작은 또는 이와 동일한(대응하는) 폭 및 피치를 가져야 한다. 애플리케이션에 따라서는, 테스트 패턴(40)은 복수의 어레이 라인을 포함하고, 어레이의 최소의 폭 및 간격이, 의도하는 설계상의 최소 피치 또는 리소그래피 프로세스 및 기기의 최소 처리 능력의 상하의 치수 범위를 커버하도록 변경가능하다. 최소의 경우, 적어도 하나의 라인 어레이가 테스트 패턴을 구성한다. 도 17에 도시한 바와 같이, 제품 패턴(44) 및/또는 다른 필수 정렬 및 측정 패턴이 위치되어 있지 않은 임의의 영역에 테스트 패턴(40)을 분포시킬 수 있다. 이와 달리, 레지스트/에칭 이미지의 특성화가 목적일 경우에는, 라인 폭 및 피치가 변화하는 유사한 테스트 패턴을, 이미지 필드 및 웨이퍼의 전역에 분포시킬 수 있다.

도 18에는 레벨 지정 어레이로 구성된 오버레이 표적의 일 실시예가 도시되어 있다. 기판의 한 레벨상의 제 1 표적 부분은 각각 X 방향(엘리먼트의 길이는 X 축에 평행)으로 방향 설정된 엘리먼트(133, 135)를 갖는 어레이(132 및 134) 및 Y 방향(엘리먼트의 길이는 Y 축에 평행)으로 방향 설정된 엘리먼트(141, 143)를 갖는 어레이(140 및 142)를 포함하는 것으로 도시되어 있다. 엘리먼트간의 간격은 어레이(132, 134, 140 및 142)의 엘리먼트 폭과 동일하다. 양측의 어레이는 표적 중심점(131)으로부터 동일한 거리에 배치된다. 어레이의 쌍은 별개의 표적을 구성하는데, 여기서 (마스크 또는 레티클 상의) 어레이 쌍의 대향 에지들(facing edges) 사이의 공칭 거리(nominal distance)는, 소정의 선택치이다. 마찬가지로, 어레이 쌍(140, 142)도 동일한 방법으로 배치된 별개의 표적을 구성한다.

기판의 다른 레벨상에 인쇄된 제 2 표적 부분은 어레이(152, 154, 156 및 158)로 구성되며, X 및 Y 축에 대해 평행한 행에 정렬된 불연속 정방향 엘리먼트(153, 155, 157 및 159)를 각각 갖는다. 양측의 어레이는 표적 중심점(151)으로부터 동일한 거리에 있다. 엘리먼트간의 간격은 어레이(152, 154, 156 및 158)의 엘리먼트 폭과 동일하다.

에지의 오버레이를 판정하기 위해, 표적 어레이(132, 134, 140 및 142)의 이미지를 기판의 한 레벨상에 노출 및 에칭하고, 표적 어레이(152, 154, 156 및 158)의 이미지를 기판의 다른 레벨상에 노출 및 에칭한다. 이 때, 표적 부분의 중심점(131, 151)을 서로 일치시키고, 개별 엘리먼트 길이의 X 및 Y 방향을 유지하도록 한다. 바이어스 및 오버레이 에러는 X 및 Y 방향에 대해, 한 어레이내의 에지들 사이 또는 동일하거나 상이한 레벨상의 어레이들 사이의 거리를 측정함으로써 계산될 수 있다. 측정은, 원하는 디바이스 패턴의 노출 및 현상을 모두 체크하는 프로세스 동안, 그리고 차후에 웨이퍼 기판으로 패턴을 에칭하는 동안 행해질 수 있다. 또한, 도 18에 도시된 표적은 종래의 기술에서 사용된 통상의 박스 인 박스(box-in-box) 표적을 직접 대체하는데 사용될 수 있다.

본 발명의 향상된 인라인 계측 기기는 표적 및 이미지화 시스템의 자체 일치(self-consistent) 설계를 이용하여 광학 현미경의 한계를 극복한다. 전술한 바와 같이, 표적은 개별 패턴 엘리먼트의 측정 대신에 어레이의 에지의 측정을 채택한다.

도 19에 개략적으로 도시된 바와 같이, 기판 웨이퍼상의 표적(160)은 피치 P인, 평행한 패턴 엘리먼트 또는 라인(161)의 어레이로 구성된다. 피치는 특정 마스크층에 대한 집 설계시의 최소 피치에 일치한다. 어레이 폭 W_0 은 계측 기기의 최소 해상도에 비해 크다. 도시한 특정한 패턴 설계의 경우, W_0 은 개별 패턴 엘리먼트의 길이에 또한 해당한다. 다음의 수식식과 같이, P가 광학 해상도 미만이면

$$P < \lambda / NA(1 + \sigma)$$

어레이의 광학 이미지는 도시된 바와 같이 피치가 없는 넓은 라인(162)이 될 것이며, 여기서, 패턴 엘리먼트는 피치의 방향으로 해상되지 않으나, 어레이의 폭 방향으로 잘 해상된다. 광학 현미경 계측을 이용하면, 라인(162)의 이미지를 초점내로 끌어들이어, CCD 카메라상에 포착할 수 있다. 평균 강도 궤적(trace)은 라인(162)의 길이 방향으로 카메라 시야내에 수집된다. 측정 게이트(163)는 어레이의 길이 L_{array} 방향으로의 다수의 화소에 대한 평균치로 셋팅될 수 있다. 측정 게이트에 의해 포착된 라인의 길이 방향으로의 평균 검출 강도는 무패턴 영역에서는 I_{max} 로서, 라인(162)내에서는 I_{min} 로서 표시된다. 각 에지에서의 콘트라스트 C는 다음의 수식식과 같이 주어진다.

$$C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

다음과 같은 수식식에 의해 측정된 어레이의 폭 W_m 을 결정하기 위하여, 잘 알려진 다수의 기법에 의해 알고리즘을 적용함으로써 에지 검출을 행할 수도 있다.

$$W_m = x_1 - x_2$$

어레이의 중앙 x_c 는 다음의 수식식과 같이 주어진다.

$$x_c = (x_1 + x_2) / 2$$

전술한 바와 같이, 공칭 동작점 부근의 프로세스 조건의 범위에 걸쳐, 측정된 폭이 실제의 폭과 일치하도록 변화하는 것이 중요하다.

도 19에서의 평균 강도 궤적 특성을 모니터링함으로써, 오 감도의 문제가 부분적으로 해결될 수 있다.

특히, 수학적 4에서 정의된 이미지 콘트라스트는 기관 및/또는 패터닝된 층의 광학 특성의 변화에 대한 감도를 표시하는 것이다. 통계적 프로세스 제어 방법(statistical process control methodology)을 콘트라스트에 적용하여, 일정한 측정이 오 감도에 영향을 받았는지 여부, 즉, 감지된 CD 변이가 실제의 패턴 치수와 무관한 광학 이미지 변이로 인한 것인지 여부를 판정할 수 있다. 이러한 방식으로, 잠재적으로 해로운 프로세스 변화를 추가적으로 간파함으로써, 광학 계측 방식의 '단점(weakness)'을 이점으로 바꿀 수 있다.

최소 피치가 측정 방향에 대해 수직인 도 19의 표적 설계를 사용한 결과, 폭보다는 최소 치수 패턴의 길이가 모니터링되게 된다. 소정의 리소그래피 프로세스의 해상도 한계에 근접함에 따라, 라인의 폭보다는 라인의 길이가 프로세스의 조건에 상당히 더 민감하게 되는 경향이 있다.

측정 방향에 수직인 표적 피치를 가정으로써 얻을 수 있는 추가적인 이점은, 수학적 2를 만족해야 할 필요성, 즉, 피치를 광학 현미경의 해상도보다 작게 유지해야 할 필요성을 완화시킨다는 것이다. 패턴 엘리먼트를 부분적으로 또는 심지어 완전히 해상하면, 그 결과, 어레이의 에지 방향의 화소들이 에지 위치에서 변조를 겪게 된다. 하지만, 이것은 어레이의 긴 길이에 걸쳐 평균적으로 개별 라인의 길이에 주로 민감한 에지 위치를 단 하나만 발생시킨다. 그럼에도 불구하고, 검출 강도의 에지의 예리성은 라인이 해상될 때 감소하므로, 측정의 정밀도가 저하된다. 반도체 제조 애플리케이션에 대해 이러한 계측 방식을 최적화시키기 위해서는, 본 발명의 향상된 광학 현미경의 구성은 전술한 바와 같이, 사용된 표적에 대해 수학적 2가 충족됨을 보장하는 것이 바람직하다.

표적의 구성은, 제조 프로세스에서의 패턴층(예를 들면, 라인, 콘택트 또는 아일랜드(islands))을 모사하고, (예를 들면, 테이퍼형 라인(tapered lines), 대거(daggers) 또는 부해상도(subresolution) 패턴을 이용하여) 계측의 감도를 향상시키며, 리소그래피 프로세스의 특정 속성(예를 들면, 선형성(linearity), 근접성 바이어스(proximity bias))를 특성화하도록 조정될 수 있다.

제조중 패턴 층의 동작점을 최소의 노력으로 유지하기 위해, 프로세스의 변화에 대한 그 응답이 각 층의 특성과 상관될 수 있는 단일 설계를 선택하는 것이 바람직하다. 광범위한 평가에 근거할 때, P가 특성의 층의 최소 피치에 일치하는 도 1의 단순한 설계가 최상의 절충안인 것 같다.

이러한 기본적인 표적 구성의 처리 능력을 증대시키는 두 가지 개선예가 도 20 및 도 21에 도시된다. 첫 번째 개선예가 도 20에 도시되며, 여기서, 표적(164)은 한 쌍의 인접 어레이(166, 168)를 포함하며, 각 어레이는 길이가 동일한 평행한 라인 또는 엘리먼트(169)로 이루어진다. 라인의 길이 및 어레이의 폭은 W_0 으로서 주어지며, 어레이의 간격 또는 간격은 S_0 으로서 주어진다. 고유 어레이 피치 $P_0 = W_0 + S_0$ 이 확정되며, 이는 프로세스 조건에 대해 불변이다. CD 측정은, 이제 어레이 폭 W_m 과 어레이 간격 S_m 의 측정값들간의 바이어스 B_m 으로서 표현될 수 있다.

$$B_m = W_m - S_m$$

B_m 의 정밀도는 두 개의 독립적인 측정치(W_m , S_m)로 구성되는 경우, W_m 의 측정치에 대한 2의 제곱근만큼 향상된다. 측정된 피치와 공칭 피치 사이의 차이는 각각의 바이어스 결정의 정밀도 ϵ 을 모니터링하는 수단으로서 사용될 수 있다.

$$\epsilon = P_m - P_0$$

여기서, ϵ 에 한계를 설정하여, 불량한 측정임을 표시할 수도 있다. 더욱이, 고유값 P_0 는 부호화된 식별자로서 각각의 표적에 할당될 수 있다.

두 번째 표적 개선예는 동일 날짜에 모두 출원된 'Metrology Method Using Tone Reversed Pattern'이란 명칭의 미국 특허 출원 제 호(대리인 문서 번호 제 F19-96-146 호), 'Feature Size Control System Using Tone Reversing Patterns'란 명칭의 미국 특허 출원 제 호(대리인 문서 번호 제 F19-96-147 호), 'Optically Measurable Serpentine Edge Tone Reversed Targets'란 명칭의 미국 특허 출원 제 호(대리인 문서 번호 제 F19-97-012 호)에 기술된 바와 같이, 톤 반전 어레이(tone reversing arrays)를 사용하는 것이다. 이러한 표적의 패턴 또는 엘리먼트는, 레지스트 형상, 아일랜드 또는 라인을 이루거나, 또는 인접한 영역 아래로 함몰된 영역인 공간 또는 콘택트를 이룰 수 있다. 본 명세서 및 전술한 특허 출원에서 사용된 바와 같이, 형상, 아일랜드 및 라인이라는 용어는 동일한 의미를 가지며, 공간, 트렌치 및 굴(trough)이라는 용어는 동일한 의미를 갖는다. 콘택트는 공간의 치수가 X 및 Y 방향으로 대략 동일한 경우를 지칭한다.

위에서 예시된 표적 엘리먼트는 단지 단 하나의 톤만을 갖는데, 즉, 패터닝된 막의 공간 또는 아일랜드 중 어느 하나로 이루어져 있다. 도 21에는 두 가지 톤의 어레이 에지를 포함하는 톤 반전 어레이 또는 패턴의 예가 도시되어 있다. 표적(170)은 한 쌍의 어레이(171, 173)를 포함하며, 이들 어레이 각각은 길이가 동일한 평행 라인(175)으로 이루어지고, 이들 라인(175)은 아일랜드(172)의 양 측면과 접촉하며, 이 아일랜드(172)는 어레이(171, 173)와 동일한 길이, 폭 및 톤을 갖는다. 어레이(171, 173) 및 아일랜드(172)의 폭은 W_0 으로 주어진다. 어레이(177)는 어레이(173)로부터 거리 S_0 만큼 이격되어 있고, 동일한 길이의 평행한 라인(179)을 포함하며, 한 어레이 에지 방향으로 동일한 길이 및 폭의 아일랜드(178)와 접촉하고 있다.

바이어스 및 피치를 아일랜드 및 공간의 에지 위치의 함수로서 표현하면, 초점, 막 두께 및 기관의 특성과 같은 다른 프로세스 변수에 대한 CD 응답으로부터 노출량 및/또는 에칭 시간에 대한 CD 응답을 분리해 낼 수 있다.

예를 들면, 아일랜드 대 공간(island-to-space) 바이어스 $i^s B_m$ 및 피치 $P^s W_m$, $P^s S_m$ 은 다음의 수학식에 의해 결정될 수 있다.

$$i^s B_m = i^s W_m - i^s W_{s_0} = i^s S_m - i^s S_{s_0}$$

$$P^s W_m = i^s W_m + i^s W_{s_0}$$

$$P^s S_m = i^s S_m + i^s S_{s_0}$$

아일랜드 및 공간 에지는 노출량에 따라 반대 방향으로 이동하나, 디포커스(defocus)와 동일한 방향으로 이동하기 때문에, $i^s B_m$ 은 주로 노출량에 민감하고, 디포커스에는 민감하지 않으며, 피치 $P^s W_m$, $P^s S_m$ 은 주로 디포커스에는 민감하고, 노출량에는 민감하지 않다. CD의 노출량 및 디포커스에 대한 의존성을 구별할 수 있는 것이 톤 반전 표적의 핵심 속성이다.

아일랜드 및 공간 패턴이 광학 현미경 내에 이미지화될 때 유사한 콘트라스트를 갖는다면(예를 들면, 주변의 배경에 대해 둘다 암(dark)이면), 기판의 특성으로 인한 감지된 에지 위치에 대한 변화는 이들 패턴에 대략적으로 동일한 영향을 미칠 것이다. 따라서, 이 두 패턴 쪽 사이의 차이로서 표현되는, 도즈 의존적(dose dependent) $i^s B_m$ 은 기판의 광학 특성의 변화에 비교적 민감하지 않을 것이다. 도즈는 CD에 대한 주요한 제어 파라미터이기 때문에, 기판의 특성에 대한 오 감도를 억제할 수 있다는 것이 톤 반전 표적의 제 2의 핵심 속성이다.

도 22에는 바람직한 계측 기기 및 시스템이 개략적으로 도시되어 있다. 비록, 리소그래피 기기 정렬 시스템에서 공통적으로 발견되는 것과 유사한, 암시야, 위상 콘트라스트, 회절 기반 시스템과 같은 다른 광학 구성이 상정되더라도, 도시한 예는 명시야(bright-field) 광학 현미경 시스템으로 구성된다.

명시야 광학 계측은 반도체제조 프로세스의 임계 치수 및 오버레이의 양자를 측정하는데 적용된다. 도 22에서 광대역 광원(broadband light source)(200)은 조명 시스템으로부터의 광선을 대물 렌즈(216)의 대물 판(217)내의 기판(219)상으로 투사한다. 조명은 광원(200)으로부터 집광 렌즈(collector lens)(202)를 통과하는, 주 광선(principal rays)(201) 및 가장자리 광선(marginal rays)(203)을 포함한다. 판(205)내에 위치한 개구(204)는, 대물 렌즈(214, 216)의 출구 동공(exit pupil)과 공액 관계에 있고, 조명의 부분 가간섭성을 결정한다. 판(206)내에 위치한 시야 조리개 개구(field stop opening)(207)는 대물 판과 공액 관계에 있고, 기관상의 조명 영역을 결정한다. 광선(201, 203)은 콘덴서 렌즈(condensor lens)(208)를 통과한 후, 광원(200)에 의해 방사된 일련의 파장 중 소정의 서브셋을 선택적으로 투과시키는 파장 필터(wavelength filter)(210)로 진입한다.

부분 반사 빔 분할기 미러(partially reflective beam splitter mirror)(212)는 조명 광선을 90 도의 각으로 꺾어 현미경 대물 렌즈로 들어가게 한다. 전형적으로, 대물 렌즈는 복수의 렌즈 엘리먼트로 구성되며, 도 22에는 한 쌍의 렌즈(214, 216)로서 개략적으로 도시되어 있다. 대부분의 경우, 동공 판(pupil plane)(215)은 도시된 바와 같이, 렌즈의 내측에 위치할 것이다. 광학 시스템의 부분 가간섭성은 통상, 조명이 동공 판(215)내의 개구(213)를 채울 때의 각도에 의해 결정된다. 그 영역이 점점 더 채워지면 질수록 조명의 간섭성은 점점 더 작아진다. 또한, 개구(213)는, 대물 렌즈에 의해 집광된 회절 광선의 최대각을 결정하며, 따라서 대물 렌즈의 해상도를 결정한다.

수집된 이미지는 이동가능 스테이지(218) 위의 대물 판(217)상의 기판(219)으로부터 반사된 후, 대물 렌즈(216, 214)를 반대 방향으로 다시 통과하고, 빔 분할기(212)를 곧 바로 통과해, 이미지 판(222)에 위치한 CCD 어레이인 전자 카메라(224)에 투영된다. 통상, 이미지를 판(222)상의 CCD 어레이로 집속하는 데에는 단일의 렌즈(224)로도 충분할 것이다. 이하에 더 기술된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예는 렌즈(220)와 판(222) 사이에 제 2 렌즈(232)를, 렌즈(220)와 렌즈(232) 사이에 판(230)의 개구(231)를 이용한다. 카메라(224)로부터의 출력은 이미지 프로세서(image processor)(226)에 의해 전자적으로 필터링되어 해상될 수 있다. 본 발명의 광학 계측 시스템에서, 현미경의 여러 가지 기능, 즉, 이미지 집속, 개구 셋팅, 필터 선택, 조명 레벨 등은 중앙 마이크로프로세서 제어 시스템(228)에 의해 관리된다.

바람직한 표적은 그 내부의 피치 P 및 그 어레이 폭 W에 의해 명시될 수 있다. 표적과 그 주변 영역 사이에는 적절한 이미지 콘트라스트가 있어야 한다. 이미지 콘트라스트는, 파장 및 부분 가간섭성의 기기 파라미터들, 패턴링된 표적, 패턴링되지 않은 인접 영역 및 아래에 놓인 기판의 광학 특성의 함수이다. 도 23은 $NA = 0.5$ 및 $\sigma = 0.5$ 의 광학 시스템에 의해 검출된, 대표적인 막 스택상의 포토레지스트 내의 $P = 0.55 \mu m$ 인 격자 구조(grating structure)의 콘트라스트에 대한 시뮬레이션 그래프를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 콘트라스트는 가시 영역 전역에서 파장에 크게 의존한다. 상이한 파장에서는, 패턴링된 영역은 주변의 영역보다 더 밝거나, 더 어둡게 될 수 있으며, 높은 콘트라스트 영역의 대역폭은 25-50 nm 차수인 경향이 있다. 도시된 경우에 있어서, 콘트라스트는 주로 표적과 그 주변의 상대적인 반사율에 의해 결정된다.

콘트라스트에 영향을 미치는 두 번째 기기 파라미터는 조명의 부분 가간섭성이다. 비간섭성(incoherent) 시스템은 단지 반사된 강도에서의 변화만을 관측하는 반면, 간섭성 시스템은 위상에 대해서도 민감하다. 강도 콘트라스트가 거의 없는 경우, 신호의 모든 것은 위상 변화내에 담겨 있다. 결국, 파장의 선택 및 부분 가간섭성의 선택을 모두 이용하여 콘트라스트를 최적화할 수 있다. 이들 조절에 가해지는 하나의 제약은, 대물 판내의 조명 레벨이 표적상에 집속되어, 표적을 이미지화하

기에 충분해야 한다는 것이다.

본 발명의 바람직한 관점에서, 파장 λ 및 부분 가간섭성 σ 는 주로 콘트라스트 최적화에 사용된다. 이와 같은 경우, 해상도를 변화시키는데 NA를 사용할 수 있다. 회절이 발생하도록 다음의 수학적 식에 나타난 바와 같이 (λ , σ)를 선택하면,

$$P > \lambda / (1 + \sigma)$$

NA는, 패턴 엘리먼트가 해상되지 않도록 보장하기 위해 수학적 식 2에 따라 축소될 수 있다. 예를 들어, 수학적 식 12가 만족되지 않으면, 도 1의 어레이 표적내의 패턴 엘리먼트가 이미지화될 가능성은 없다.

도 1 및 도 12의 경우와 같이, P가 어레이 쪽에 수직일 때, 두 개의 방향으로 NA를 서로 다르게 설정하는 것이 유리하다. 피치의 방향(개별 엘리먼트의 길이에 수직 방향)으로의 낮은 NA는 패턴 엘리먼트가 해상되지 않도록 보장하며, 반면에 어레이 쪽의 방향(개별 엘리먼트의 길이에 수평 방향)으로의 높은 NA는 어레이의 에지가 잘 해상되도록 보장한다. 높은 NA의 방향 설정에 가해지는 하나의 제한은, 그것이 계측 집속 시스템에 대해 보다 엄격한 제약을 가한다는 것이다. 집속 능력 및 NA는 양호한 측정 정밀도의 달성에 부합해야 한다. 최소한, 그 정밀도는 현재의 탐다운 SEM상에서 달성할 수 있는 정밀도, 즉, 10 nm(3σ)와 동등한 것이 바람직하다.

도 22의 현미경 설계의 경우, NA는, 동공 판(pupil plane)(215)에 위치한 개구(213)를 변경함으로써 조절될 수 있다. NA는, 개구(213)를 조절가능하게 또는 변경가능하게 만듦으로써 연속적으로 변경될 수 있다. 도 13에 도시된 바와 같은 장방형 개구는 패턴의 레이아웃에 대응하여, 두 개의 직교 방향으로 NA를 서로 다르게 조절해야 할 필요성을 충족시킬 것이다. 그러나, 조영의 레벨 및 부분 가간섭성에 영향을 미치지 않으면서 개구(213)를 변경시키는 것은 어렵다고 알려져 있다. 통상의 대물 렌즈에서는, 개구를 조절하는데 필요한 기계적 제어부를 삽입할 만한 공간이 동공 판에 대개 부족하다. 하나의 대안은 고정된 개구를 갖는 교체가능한 대물 렌즈의 세트를 구비하는 것이다. NA의 연속적인 변화를 가능하게 해주는 바람직한 해결책은, 도 22에 도시된 바와 같이, 현미경의 이미지화 암(imaging arm)을 변형하는 것이다. 대물 동공 판에 대한 공액을 생성하도록 대물 렌즈(220)와 이미지 판(222) 사이의 경로내에 광학 시스템이 삽입된다. 렌즈(220)와 렌즈(232) 사이의 공액 판(conjugate plane)(230)은 가변 개구(231)를 수용하며, 이 개구(231)는 이미지화 시스템의 유효 NA를 결정하도록 변경될 수 있다. 가변 개구(232)는 전술한 가변 개구들 중 어느 하나일 수 있으며, 바람직하게는 도 13에 도시된 장방형 가변 개구이다.

전술한 구성 대신에 또는 그에 추가하여, 두 개의 직교 축상의 유효 해상도의 조절은, 에지 검출전에, 이미지 프로세서에 잘 알려진 계산적 공간 필터링 기법을 이용함으로써 실시될 수 있다. 전자 카메라로 취득한 디지털 이미지의 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform; FFT)은 이미지의 강도를 공간 주파수 영역으로 변환한다. 이미지의 고주파수 성분의 공간 필터링은 하나 또는 양 차원에서 독립적으로 실시될 수 있다. 역 FFT는 그 이미지를 이미지 강도 영역으로 재변환하며, 여기에서는 표준 에지 검출 방법이 적용될 수 있다. 이미지가 높은 NA에서 취득되고, 수학적 식 2를 충족시키는 것과 같이 피치 방향으로의 높은 공간 주파수 성분이 억제되도록 필터링이 되면, 에지 검출시의 강도 프로파일은 증가의 장방형의 개구(213) 또는 개구(231) 셋팅을 사용하여 생성된 프로파일과 일치할 것이다. 차이는, 간섭성 이미지화의 경우에 일어나며, 여기서, 이미지는 위상 변화에 민감한데, 이는 이미지 프로세서는 단지 그 검출된 강도를 통해 이미지를 '관측'할 뿐이기 때문이다. 이들 차이는 대수롭지 않을 수도 있으나, 이미지 처리 방식에 의한 각각의 측정시에 필요한 계산이 측정 시간에 더해질 것이다.

현미경의 이미지화 암내의 광학계는 또한, 전자 카메라의 이미지 시야 크기인 이미지 판 FOV(field-of-view; 시야)를 확장할 것이다. 전형적인 FOV는 512×512 CCD 어레이상에서 50 μ m 평방(square)이다. 결국, 개별 화소의 크기는 대략 100 nm 평방이다. 10 nm의 정밀도를 달성하려면, 0.1 화소보다 훨씬 더, 광학 이미지의 에지 위치의 보간(interpolation)이 필요하다. 정밀도의 향상은, 동일한 FOV에서 보다 고밀도의 CCD 어레이를 이용하거나, 동일한 CCD 밀도에서 FOV를 감소시킴으로써(이미지를 확대함으로써) 달성할 수 있다. 정밀도에 영향을 미치는 다른 주요 요인은 어레이 에지 방향의 이미지 예리성(image acuity) 및 그 반복성이다. 전술한 바와 같이, 소정의 파장에서, 이미지 예리성 및 반복성은 집속의 반복성과 상관된다. 집속 반복성이 문제가 되지 않는다면, 정밀도는 어레이 쪽의 방향으로의 높은 NA에서 동작시킴으로써 개선될 수 있다.

FOV를 대략 50 μ m 평방으로 유지시키면, 단일의 FOV내에 복수의 CD 표적을 포함할 수 있다는 이점이 있다. 적절한 소프트웨어를 이용하면 복수의 표적은, FOV에 걸쳐 단일 강도 계측상에서 동시에 측정될 수 있다. 상이한 표적은, 도 2 내지 도 6에 도시된 바와 같이, 리소그래피 프로세스의 상이한 특성을 나타낼 수 있으며, 또는, 도 1 및 전술한 미국 특허 출원 제 호(대리인 문서 번호 제 F19-96-146 호, 제 F19-96-147 호 및 제 F19-97-012 호)에 개시된 표적에서와 같이, 리소그래피 동작 포인트의 판정의 향상을 제공할 수 있다. 오버레이 측정과 유사한 방식으로, 도 18 또는 도 24에 도시된 바와 같이, 표적 레이아웃 및 기기 소프트웨어는, 둘 또는 그 이상의 방향에서 CD 성능을 동시에 취득할 수 있도록 해준다. 도 24의 표적은, 어레이(132' 및 134')가 각각 Y 방향(엘리먼트의 길이는 Y 축에 평행)으로의 엘리먼트(133', 135')로 이루어지며, 어레이(140' 및 142')가 각각 X 방향(엘리먼트의 길이는 X 축에 평행)으로의 엘리먼트(141', 143')를 갖는다는 것을 제외하고는 도 18의 표적과 유사하다. 엘리먼트 간격은 어레이(132', 134', 140' 및 142')의 엘리먼트 폭과 동일하다. 양측의 어레이는 표적 중심점(131)으로부터 동일한 거리에 위치한다. 어레이의 쌍(132', 134')은 별개의 표적을 포함하며, 여기서 (마스크 또는 레티클상의) 어레이 쌍의 대향 에지간의 공칭 거리는 소정의 선택치이다. 마찬가지로, 또한 어레이의 쌍(140', 142')은 유사한 방식으로 배치된 별개의 표적을 포함한다. 도 18에서와 같이, 에지 오버레이를 판정하기 위해, 표적 어레이(132', 134', 140' 및 142')의 이미지는 기판의 한 레벨상에서 노출 및 에칭되며, 표적 어레이(152, 154, 156 및 158)의 이미지는 기판의 다른 레벨상에서 노출 및 에칭된다. 이 때 표적 부분의 중심점(131, 151)을 일치시키고, 제각기의 엘리먼트 길이의 X 및 Y 방향을 유지하도록 한다. X 및 Y 방향의 바이어스 및 오버레이 에러는, 어레이내의 에지들 사이

의 거리, 혹은 동일하거나 상이한 레벨의 어레이들 사이의 거리를 측정함으로써 계산될 수 있다. 측정은, 원하는 디바이스 패턴의 노출 및 현상을 모두 체크하는 프로세싱 동안, 그리고 차후 웨이퍼 기판으로 패턴을 에칭하는 동안 실행될 수 있다. 또한, 도 24에 도시한 표적은 종래의 기술에서 사용된 통상의 박스 인 박스 표적을 직접 대체하는데 사용될 수 있다.

CD 및 오버레이 계측을 모두 동일한 기기상에 구현하는 것의 가치를 생각하면, 오버레이 계측 성능을 희생하면서, 본 발명에 의해 제안된 종래 기술의 변형을 행할 필요가 없음을 유의해야 한다. 반대로, 본 발명의 기기 및 시스템상의 CD와 오버레이 계측간에 많은 시너지 효과가 발생할 수 있다. 칩의 치수가 감소함에 따라, 오버레이 표적의 치수의 감소가 점점 더 필요하다. CD 계측용으로 개발된 동일한 어레이 설계는 오버레이 계측에 적용가능하다. 더욱이, CD 및 오버레이 표적은, 도 18 또는 도 24와 관련하여 기술된 바와 같이, 양 측정이 동시에 이루어질 수 있도록 결합될 수 있다.

따라서, 본 발명에서는, 계측 해상도 요건들은, 그 개별 패턴 엘리먼트가 칩 패턴의 최소 피쳐 및 피치를 대표하는 크기 및 피치를 갖는 정규 어레이의 에지를 따라 집적함으로써, 최소 피쳐 크기로부터 분리된다. 어레이의 치수는 임의로 크게 할 수 있고, 임의의 현미경 검사 기법에 의해 이들을 해상가능하게 만들 수 있다. 패턴 엘리먼트는 계측 해상도보다 작게 될 수 있어, 피쳐 크기 확장가능성에는 근본적인 제한이 없다. 어레이의 에지는 어레이를 구성하는 개별 패턴 엘리먼트의 치수와 부합된 상태로 이동한다.

측정 정밀도 및 강도의 자체 확인도 또한 달성되는데 이는, 기판의 변이에 대한 측정 강도가 광학 이미지의 콘트라스트를 추적함으로써 모니터링되며, 정밀도가 인접 어레이의 피치를 추적함으로써 모니터링될 수 있기 때문이다. 전술한 미국 특허 출원 제 호(대리인 문서 번호 제 F19-96-146 호, 제 F19-96-147 호 및 제 F19-97-012 호)에 기술된 바와 같은 톤 반전 표적은 도즈 및 초점 의존성을 분리하는데 사용될 수 있다.

또한, 단일 광학 기기내에 인라인 CD 및 오버레이 계측이 달성된다. 전술한 어레이 표적의 측정은, 측정, 데이터 수집 및 해상이 단 하나의 단계로 수행될 수 있게 한다.

어레이 에지 측정과, 정밀도 및 강도의 자체 확인은, CD 계측에 대한 광학 현미경의 해상도 및 오 강도의 제한을 회피할 수 있도록 해준다. 단일 인라인 기기내에 구현하는 것은, 반도체 제조 프로세스의 비용, 사이클 시간(cycle-time) 및 복잡도를 감소시키는 실질적인 해결책을 제시한다.

본 발명은 특정의 바람직한 실시예와 관련하여 특히 기술되었지만, 여러 가지 치환, 수정 및 변경은 전술한 내용의 견지에서 당업자에게 명백할 것이다. 첨부된 특허 청구 범위가 본 발명의 진정한 범위 및 사상을 벗어나지 않는 이러한 임의의 치환, 수정 및 변경을 포함하는 것으로 의도된다.

발명의 효과

본 발명에 따른 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치 및 프로세스에 의하면, 광원과, 대물 판과, 대물 렌즈와, 이미지 판을 포함하는 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 효과적으로 결정할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

리소그래피 프로세스(lithographic process)에 의해 형성된 기판의 바이어스(bias) 또는 오버레이 에러(overlay error)를 판정하는 계측 장치(metrology apparatus)에 있어서,

- ① 광원(light source)과,
- ② 상기 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하도록, 표적(target)을 그 위에 갖는 기판을 수용하는 대물 판(object plane)과,
- ③ 하나의 방향에서, 상기 광원으로부터 상기 기판상의 표적상으로 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 상기 표적의 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 상기 광원과 상기 대물 판 사이의 대물 렌즈(objective lens)와,
- ④ 상기 대물 판으로부터 반사된 상기 표적의 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판(image plane)과,
- ⑤ 상기 장치의 유효 개구수(effective numerical aperture)를 설정하는 상기 대물 렌즈와 상기 이미지 판 사이의 개구

를 포함하는 계측 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 개구는 상기 장치의 유효 개구수를 변경시키도록 조절가능한 계측 장치.

청구항 3

리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계측 장치에 있어서,

- ① 광원과,

- ② 상기 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하도록, 표적을 그 위에 갖는 기관을 수용하는 대물 판과,
- ③ 하나의 방향에서, 상기 광원으로부터 상기 기관상의 표적상으로 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 상기 표적의 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 상기 광원과 상기 대물 판 사이의 대물 렌즈와,
- ④ 상기 대물 판으로부터 반사된 상기 표적의 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판과,
- ⑤ 상기 장치의 유효 개구수를 변경시키는, 상기 광원과 상기 이미지 판 사이의 조절가능 비원형 개구를 포함하는 계속 장치.

청구항 4

리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스에 있어서,

- a) 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 기관상에 제공하는 단계- 상기 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 상기 엘리먼트의 피치(pitch)를 정의하며, 상기 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 상기 어레이의 에지간의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,
- b) 파장을 갖는 광원과, 그 위에 상기 표적을 갖는 상기 기관을 수용하는 대물 판과, 하나의 방향에서, 상기 광원으로부터 상기 기관상의 상기 표적상으로 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 상기 표적 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 상기 광원과 상기 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 상기 대물 판으로부터 반사된 상기 표적 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판과, 상기 광학 계속 기기의 유효 개구수를 변경시키는, 상기 대물 렌즈와 상기 이미지 판 사이의 조절가능 개구를 포함하는 광학 계속 기기를 제공하는 단계와,
- c) 상기 엘리먼트의 피치가, 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수에 대한 광원 파장의 비율보다 작거나, 또는 거의 동일하도록 상기 개구수를 조절하는 단계와,
- d) 상기 기관의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위하여 상기 광학 계속 기기로 상기 어레이의 상기 에지를 해상하고, 상기 어레이의 폭을 측정하는 단계를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 피치는 상기 기관상에 형성된 최소 피쳐(minimum feature)에 대응하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 단계 (d) 동안 개별 엘리먼트는 상기 어레이내에서 해상되지 않는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 광학 계속 기기의 상기 개구는 비원형이고, 상기 단계 (c)에서, 상기 어레이의 에지는 해상되나, 상기 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 상기 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA는 상기 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA와 상이하게 선택되는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 엘리먼트의 상기 피치는 P로서, 상기 광원의 상기 파장은 λ 로서, 상기 개구수는 NA로서 정의되고, 상기 광학 계속 기기는 σ 로서 정의되는 부분 가간섭성(partial coherence)을 가지며, 단계 (c)는 다음의 수학적식을 만족하도록 개구수 및 부분 가간섭성을 조절하는 단계- 여기서, 각각의 엘리먼트는 상기 표적의 상기 어레이내에서 해상되지 않음- 를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

(수학적식 1)

$$P < \text{or} \approx \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 광학 계속 기기의 상기 개구는 비원형이고, 상기 단계 (c)에서, 상기 어레이의 에지가 해상되나, 상기 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 상기 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA는 상기 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA와 상이하게 선택되는

바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 10

리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스에 있어서,

- a) 기판상에 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 제공하는 단계- 상기 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 상기 엘리먼트의 피치를 정의하며, 상기 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,
- b) 파장을 갖는 광원과, 그 위에 상기 표적을 갖는 상기 기판을 수용하는 대물 판과, 하나의 방향에서, 상기 광원으로부터 상기 기판상의 상기 표적상으로 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 상기 표적 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 상기 광원과 상기 대물 판 사이의 대물 렌즈와, 상기 대물 판으로부터 반사된 상기 표적 이미지를 포함하는 광선을 수신하는 이미지 판과, 상기 광학 계속 기기의 유효 개구수를 변경시키는, 상기 광원과 상기 이미지 판 사이의 조절가능 비원형 개구를 포함하는 광학 계속 기기를 제공하는 단계와,
- c) 상기 엘리먼트의 피치가, 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수에 대한 광원 파장의 비율보다 작거나, 또는 거의 동일하도록 상기 개구수를 조절하는 단계와,
- d) 상기 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위하여, 상기 어레이의 각각의 엘리먼트를 해상하지 않으면서 상기 광학 계속 기기로 상기 어레이의 상기 에지를 해상하고, 상기 어레이의 폭을 측정하는 단계

를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 광학 계속 기기의 상기 개구는 장방형이고, 상기 단계 (c)에서, 상기 어레이의 에지가 해상되나, 상기 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 상기 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA는 상기 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA와 상이하게 선택되는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 엘리먼트의 상기 피치는 P로서, 상기 광원의 상기 파장은 λ 로서, 상기 개구수는 NA로서 정의되고, 상기 광학 계속 기기는 σ 로서 정의되는 부분 가간섭성을 가지며, 단계 (c)는 다음의 수학적식을 만족하도록 개구수 및 부분 가간섭성을 조절하는 단계- 여기서, 각각의 엘리먼트는 상기 표적의 상기 어레이 내에서 해상되지 않음- 를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

(수학적식 1)

$$P < \text{or} \approx \frac{\lambda}{NA(1+\sigma)}$$

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 광학 계속 기기의 상기 개구는 장방형이고, 상기 단계 (c)에서, 상기 어레이의 에지는 해상되나, 상기 어레이내의 각각의 엘리먼트는 해상되지 않도록, 상기 어레이의 에지 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA는 상기 어레이의 에지에 수직인 방향으로의 광학 계속 기기의 개구수 NA와 상이하게 선택되는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

청구항 14

리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 계속 장치에 있어서,

- ① 광원과,
- ② 상기 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하도록, 그 위에 표적을 갖는 기판을 수용하는 대물 판- 상기 표적은 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하는 어레이를 갖고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 상기 엘리먼트의 피치를 정의하며, 상기 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 상기 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이 폭을 이루게 됨- 과,
- ③ 하나의 방향에서, 상기 광원으로부터 상기 기판상의 표적상으로 광선을 수집하고, 반대 방향에서, 상기 표적의 이미지를 포함하는 반사 광선을 수집하는, 상기 광원과 상기 대물 판 사이의 대물 렌즈와,
- ④ 상기 대물 판으로부터 반사된 표적의 디지털 이미지를 생성하는 카메라와,
- ⑤ 상기 엘리먼트의 길이에 수직인 상기 엘리먼트의 피치의 방향으로의 디지털 이미지의 성분을 억제하는 수단과,
- ⑥ 상기 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위하여, 상기 어레이의 상기 에지를 해상하

고, 상기 어레이의 폭을 측정하는 수단
을 포함하는 계측 장치.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 디지털 이미지의 성분을 억제하는 상기 수단은 상기 디지털 이미지의 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform)을 수행하여 이미지의 강도를 공간 주파수 영역으로 변환하는 마이크로프로세서와, 상기 엘리먼트의 피치 방향의 상기 이미지의 높은 공간 주파수 성분을 억제하는 필터를 포함하는 계측 장치.

청구항 16

리소그래피 프로세스에 의해 형성된 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하는 프로세스에 있어서,

- 기판상에 엘리먼트의 어레이를 갖는 표적을 제공하는 단계- 상기 어레이는 길이 및 폭을 갖는, 복수의 이격된 실질적으로 평행한 엘리먼트를 포함하고, 엘리먼트의 폭과 인접 엘리먼트간의 간격의 합은 상기 엘리먼트의 피치를 정의하며, 상기 엘리먼트의 에지는 양측의 어레이 에지를 형성하는 라인을 따라 정렬되고, 상기 어레이의 에지들 사이의 거리는 어레이의 폭을 이루게 됨- 와,
- 상기 표적의 디지털 이미지를 생성하는 단계와,
- 상기 엘리먼트의 길이에 수직인 상기 엘리먼트의 피치 방향으로의 상기 디지털 이미지의 성분을 억제하는 단계와,
- 상기 기판의 바이어스 또는 오버레이 에러를 판정하기 위하여, 상기 어레이의 상기 에지를 해상하고, 상기 어레이의 폭을 측정하는 단계

를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

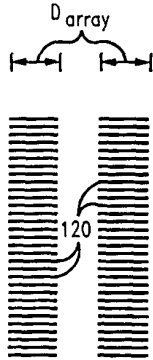
청구항 17

제 16 항에 있어서,

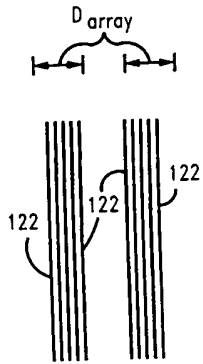
상기 단계 (c)는 상기 디지털 이미지의 고속 푸리에 변환을 수행하여 이미지의 강도를 공간 주파수 영역으로 변환하고, 상기 엘리먼트의 피치 방향의 상기 이미지의 높은 공간 주파수 성분을 필터링하는 단계를 포함하는 바이어스 또는 오버레이 에러 판정 프로세스.

도면

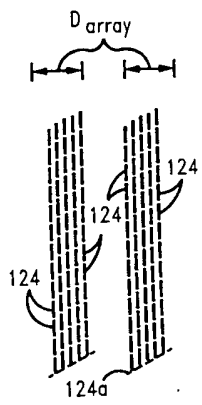
도면1



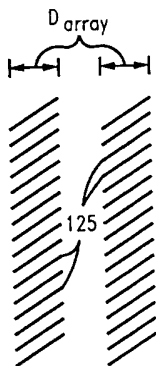
도면2



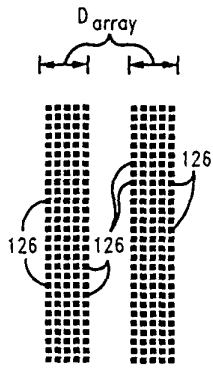
도면3



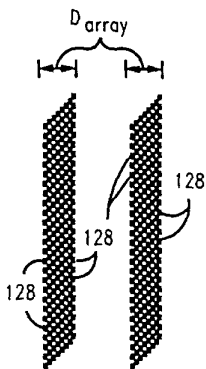
도면4



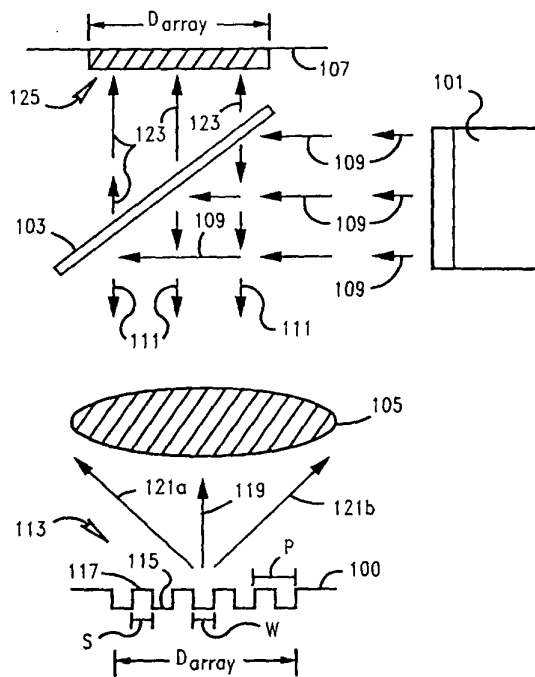
도면5



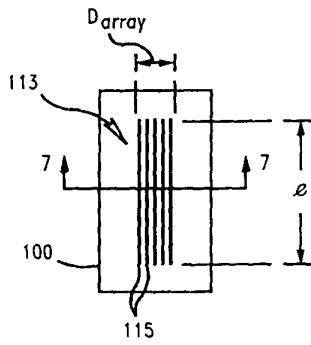
도면6



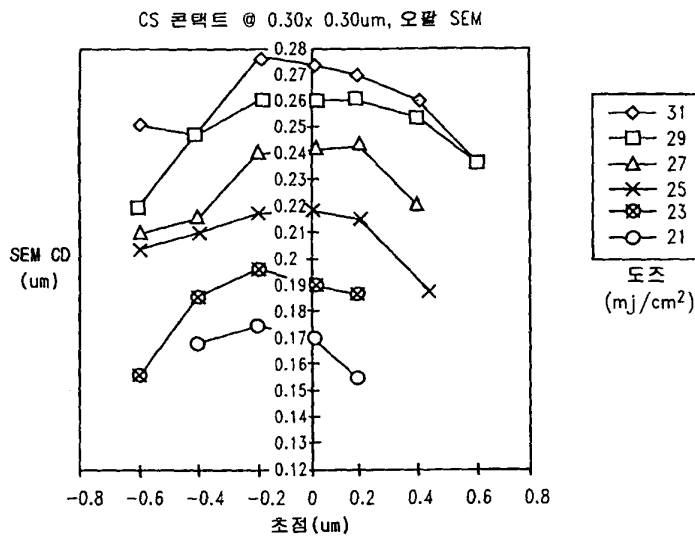
도면7



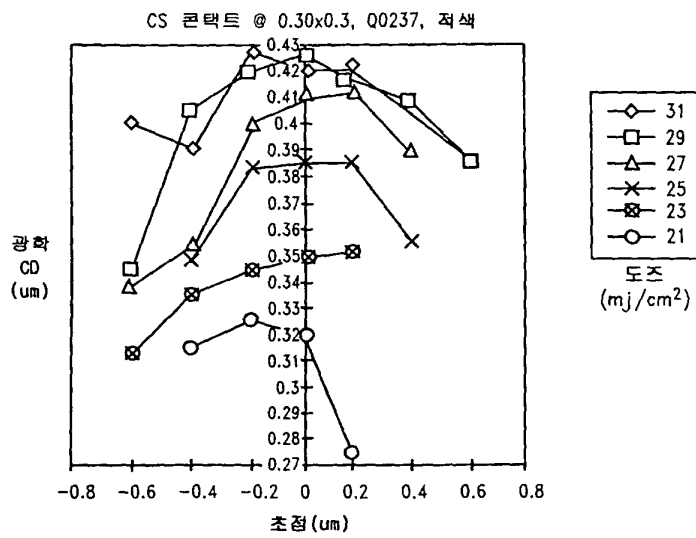
도면8



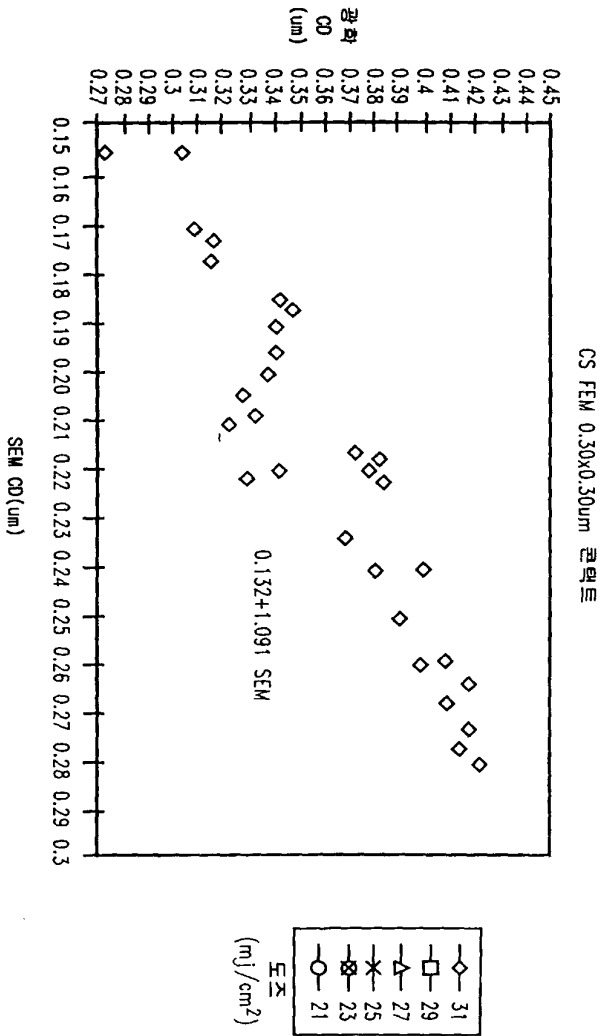
도면9



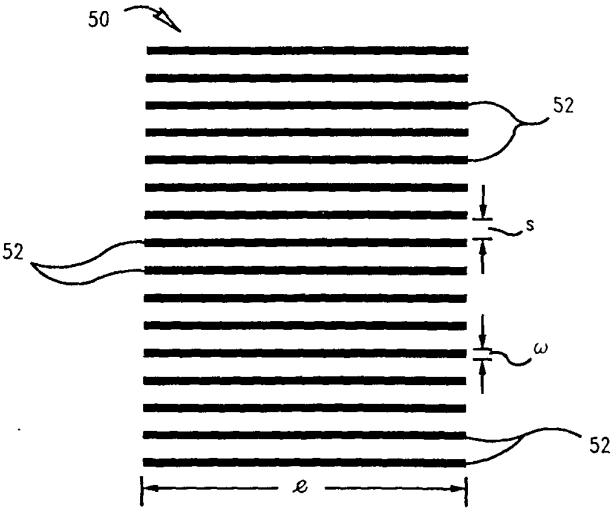
도면10



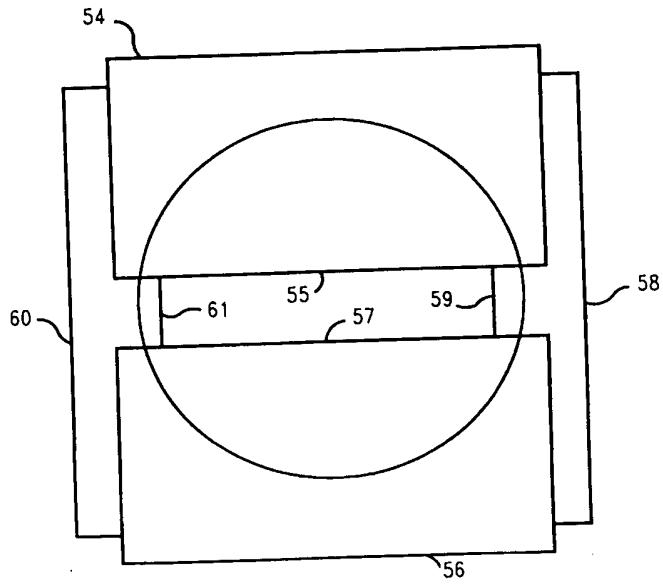
도면 11



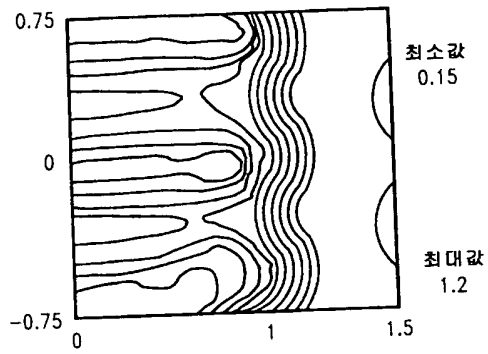
도면 12



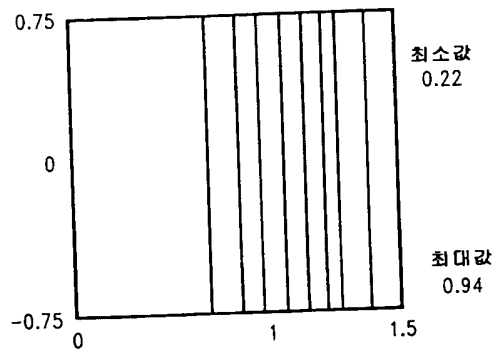
도면 13



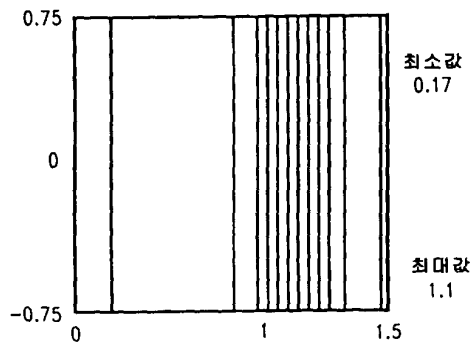
도면 14



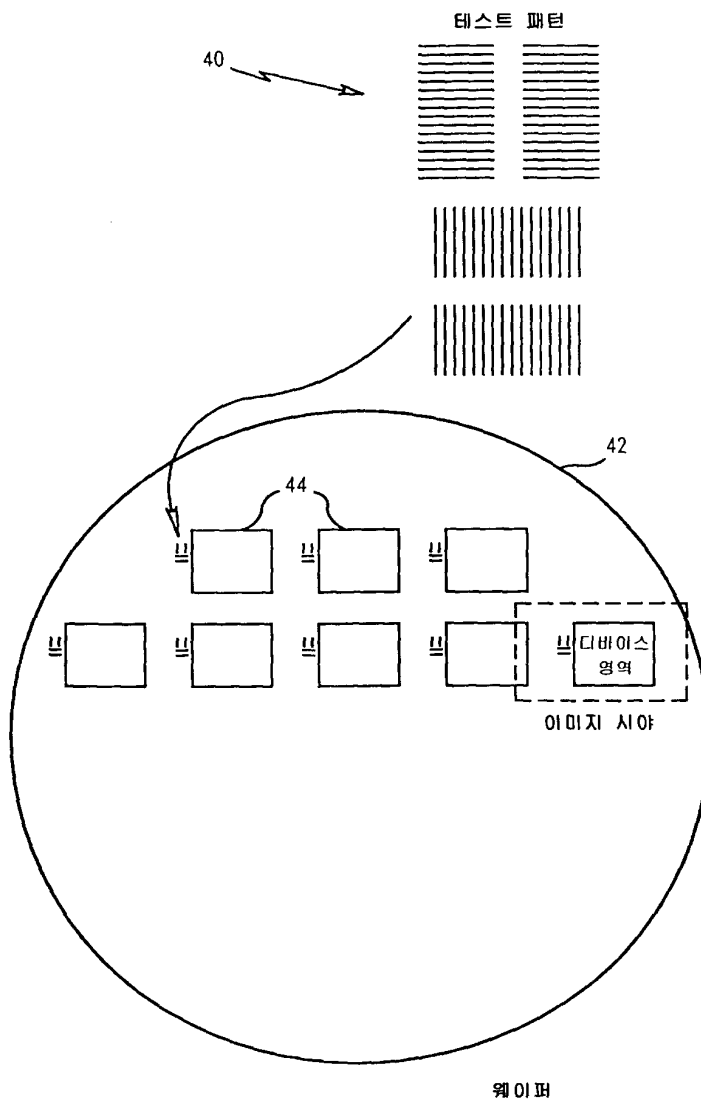
도면 15



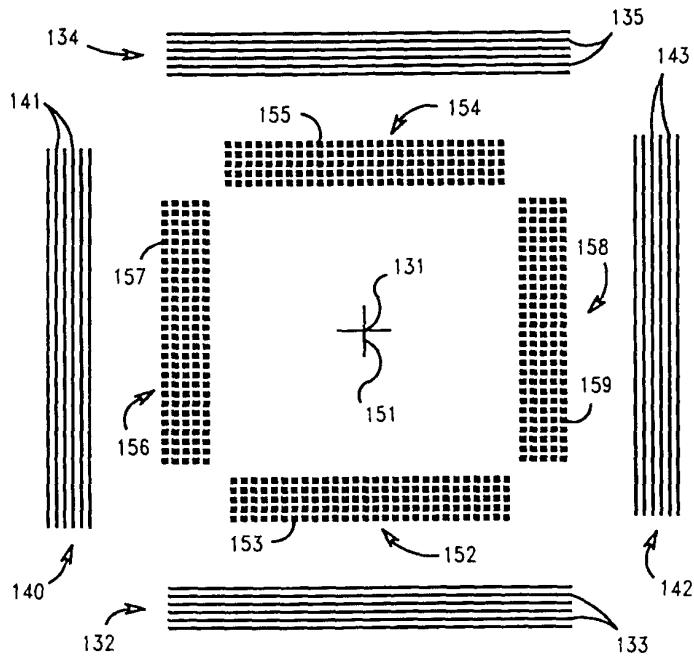
도면 16



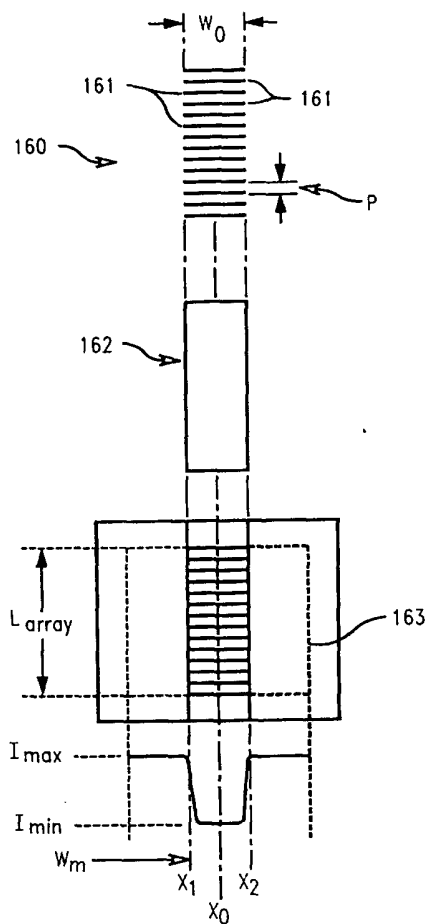
도면 17



도면 18



도면 19

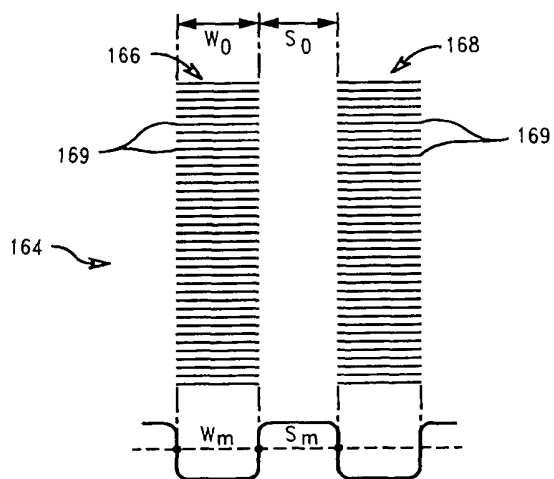


콘트라스트 : $C = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$

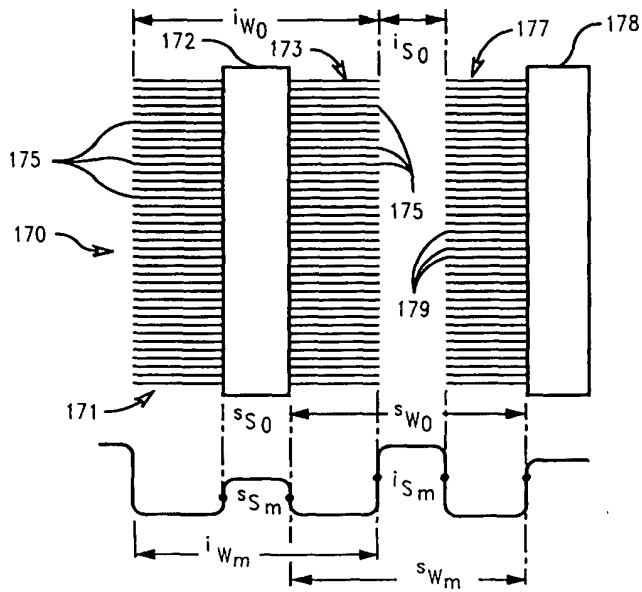
어레이 폭 : $W_m = x_1 - x_2$

어레이 중심 : $X_c = (x_1 + x_2) / 2$

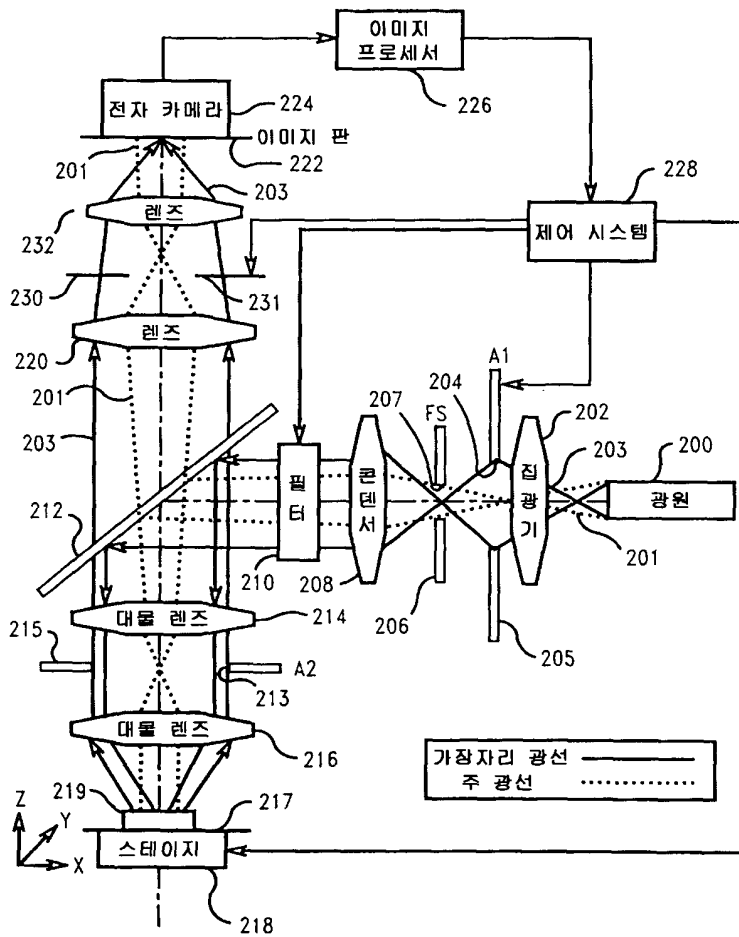
도면 20



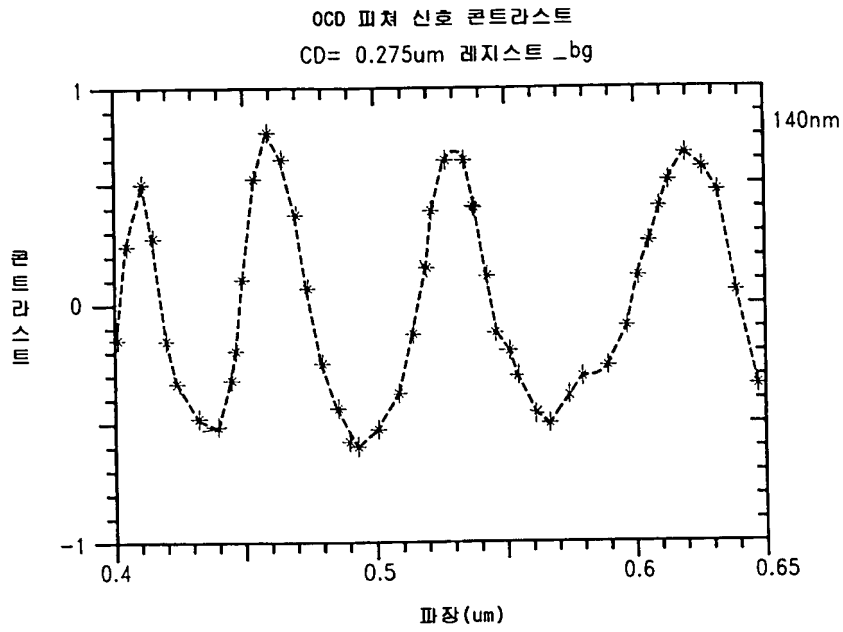
도면21



도면22



도면23



도면24

